DEE - Departamento de Engenharia Elétrica

Trabalho Final de Graduação

Sistemas de Comunicações Pessoais O Padrão GSM

Orientador: Prof. Luiz A.R.da Silva Mello

Alunos:
Carlos Eduardo Tavares da Silva
Cesar Helmold da Rocha
Vinícius Schubnell Freire

Prefácio

São notáveis as evoluções tecnológicas percebidas nos vários campos da ciência, merecendo destaque aquelas ocorridas com as telecomunicações. O desenvolvimento dos sistemas celulares(e móveis, em geral) agora impõe que os profissionais envolvidos estejam atentos e se capacitem incessantemente para poder acompanhar as constantes mudanças.

Há muito por ser feito em relação à segunda e à geração 2,5(principalmente em países em desenvolvimento).Mas devemos preparar o caminho para receber a terceira geração.

O objetivo do trabalho foi de apresentar o padrão GSM de comunicações móveis, que será implantado no Brasil . Tentamos abordar os aspectos técnicos e históricos do GSM, utilizando uma bibliografia sólida, de maneira que o leitor tivesse uma visão geral, porém bem clara.

Os dois primeiros capítulos se dedicam à introdução aos sistemas de comunicações móveis e o último a uma breve introdução sobre os serviços móveis do futuro.Os demais discursam sobre o estudo do padrão GSM e de metodologias para o seu planejamento.

Como disse Guglielmo Marconi, em 1932: "It is dangerous to put limits on wireless"

Índice

Capítulo I - Um Pouco da História.

A evolução das telecomunicações é paralela à evolução da humanidade. Nos tempos antigos para se estabelecer uma comunicação bastava gritar de uma certa distância. Assim, quanto mais força a pessoa tinha para gritar, maior era a distância atingida para a comunicação. Só que este tipo de comunicação possuía pouca qualidade quando utilizada para distâncias maiores, o que proporcionou o desenvolvimento do telefone e do rádio no final de 1800 durante a Revolução Industrial. Para comunicações em longas distâncias o serviço de telefonia com fio foi largamente utilizado devido à qualidade e a consistência desde o início ao término da chamada. A utilização do rádio se deu para as necessidades especializadas (militares e mensagem de campo) e não para se transmitir conversação do dia-a-dia.

No fim do século XIX, o cientista alemão H. G. Hertz demonstrou que, como previa a teoria desenvolvida por J. C. Maxwell, ondas eletromagnéticas podem se propagar num meio sem fio. O primeiro uso de comunicações móveis data ainda do final do século XIX, quando M. G. Marconi estabeleceu um enlace de 18 milhas entre uma estação em terra e um rebocador.

O primeiro sistema móvel terrestre data de 1921. Foi implantado pelo departamento de policia de Detroit na freqüência de 2 MHz e com modulação AM (modulação em amplitude) para comunicação entre a central e as viaturas policiais. Era um sistema simplex aonde só a base podia transmitir.

O desenvolvimento dos equipamentos e tecnologias do rádio foi sendo aperfeiçoado continuamente. O que proporcionou no início o surgimento de novos sistemas congestionando o espectro disponível. Para isso, foi criado um órgão mundial - FCC (Federal Communications Commission) que controla os regulamentos das telecomunicações, dentre os quais define a utilização do espectro. . Em 1934 a FCC autorizou mais quatro canais entre 30 e 40 MHz e em 1946 mais 6 canais em 150 MHz. Na realidade devido as restrições tecnológicas da época (interferência entre canais adjacentes) somente 3 dos canais na faixa de 150 MHz podiam ser utilizados simultaneamente.

Todos os sistemas expostos até aqui utilizavam o auxilio de operadores para efetuarem as chamadas, enquanto que os usuários procuravam manualmente um canal vago para solicitar a chamada. Somente em 1946 as comutações passaram a serem feitas de forma automática.

O sistema operava na faixa de 150 Mhz em modo full-duplex e era conhecido como sistema M.J. Ainda assim, eram sistemas convencionais, não celulares e possuíam inconveniências como:

- Necessidade de o usuário reiniciar a chamada quando se movia para uma área de freqüência diferente.
- Uso não otimizado do espectro, já que não era utilizado o re-uso de freqüências.
- Conseqüentemente, apresentavam alta probabilidade de bloqueio.

Em 1947 foi inaugurado um sistema operando na faixa de 35 a 44 MHz na rodovia Boston-Nova York. Em 1955 devido à melhoria nas técnicas de modulação, foi possível a redução do espaçamento entre canais de 60 kHz para 30 kHz, fazendo com que um total de 11 canais pudessem ser utilizados na faixa de 150 MHz. Logo a seguir, em 1956, o FCC autorizou 12 canais na faixa de 450 MHz. Em 1969 surge outro sistema automático na faixa de 450 MHz, conhecido como MK (também full-duplex).

Mesmo com estes inconvenientes, o número de candidatos na fila de espera para se habilitar ao sistema ultrapassava em muito o de usuários, indicando uma alta procura pelo serviço. Buscando um melhor desempenho, em 1975, após um longo período de negociação entre as industrias, o FCC alocou 40 MHz, e reservou mais 20 MHz, na faixa de 800 MHz para um sistema celular.

Em 1981 começaram os primeiros teste em campo do sistema celular e em 1983 os primeiros sistemas celulares analógicos AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), utilizando a técnica de múltiplo acesso por divisão de freqüência (*Frequency Division Multiple Access – FDMA*), entraram em operação nos Estados Unidos. No ano anterior o FCC já havia concedido licenças de operação e alocado 10 MHz adicionais (denominados de espectro expandido) para este tipo de serviço.

Em janeiro de 1989 surgiu o primeiro padrão digital americano, designado D-AMPS (*Digital Advanced Mobile Phone System*) e padronizado como IS-54 (*Interim Standard 54)*, utilizando a técnica de múltiplo acesso por divisão de tempo (*Time Division Multiple Acess – TDMA*). Em 1993 surgiu o segundo padrão digital americano, designado IS-95, que se utiliza da técnica de múltiplo acesso por divisão de código (*Code Division Multiple Acess – CDMA*).

ANO	EVENTO
1921	Primeiro sistema móvel terrestre – polícia de Detroit (2MHz)
1934	Sistema rádio-patrulha nos EUA com 5000 terminais e modulação AM, problemas com ruído de ignição
1935	Introdução da modulação FM
1946	Primeiros sistemas móveis para telefonia pública nas maiores cidades americanas. Caracterizados por uma estação fixa de alta potência e antenas instaladas em torres altas com alcance de até 50 Km, modulação FM e canal de RF (Rádio Freqüência) com banda de 120KHz
1950	Redução da largura de faixa do canal de RF para 60KHz devido à melhoria nas técnicas de modulação, dobrando a capacidade dos sistemas
1964	Primeiro sistema automático, na faixa de 150MHz (full duplex)
1969	Sistema automático na faixa de 450MHz
1975	FCC autoriza 40 MHz na faixa de 800MHz para um sistema celular
1979	Implantação do primeiro sistema de telefonia móvel celular no Japão pertencente a NTT (Nippon Telephone and Telgraph), com 600 canais duplex de 25KHz operando na faixa de 800MHz e modulação FM
1981	Desenvolvimento do primeiro sistema de telefonia móvel celular europeu, NMT (Nordic Móbile Telephone) 450, operando com canais de RF de 25KHz na faixa de 450MHz
1983	Surgimento do primeiro sistema móvel celular americano – AMPS (Advanced Móbile Phone System). Operando na faixa de 800MHz com 666 canais duplex de 30KHz de banda e modulação FM.
1989	Surgimento do padrão IS-54 (D-AMPS), com 3 vezes a capacidade do AMPS. Modulação $\pi/4$ DPSK, acesso TDMA e operando na mesma faixa do AMPS.
1991	Introdução do PAN – Europeu GSM (Global System for Móbile) na faixa de 1800 MHz
1992	Operação do primeiro sistema de telefonia móvel celular no Brasil – AMPS, Rio de Janeiro
1993	Desenvolvimento do segundo padrão digital americano, o IS-95 (CDMA) pela Qualcomm Inc., baseado na técnica de espectro espalhado ("Spread Spectrum")
1998	Privatização do Sistema Telebrás, proporcionando a entrada e o surgimento de novas empresas no mercado brasileiro de telecomunicações.
2000	Definição da faixa de 1800MHz para operação do novo sistema de telefonia celular – PCS (Personal Communications Service) ou SMP (Serviço Móvel Pessoal).
2000/2001	Abertura de um processo de licitação para exploração das bandas C, D e E na faixa de 1800MHz.

Tabela 1 – Desenvolvimento dos Sistemas de Comunicações Móveis

Capítulo II – Conceitos Básicos de Sistemas Celulares

II.1. O Conceito Celular

Os primeiros sistemas móveis terrestres surgiram da necessidade de comunicação de órgãos públicos norte-americanos sendo seguidos de sistemas comerciais. Eram compostos, basicamente, de transmissores com alta potência situados em locais altos para garantir uma área de cobertura apropriada (quanto mais alto o transmissor, maior a área de cobertura), como ilustrado na figura 2.1.

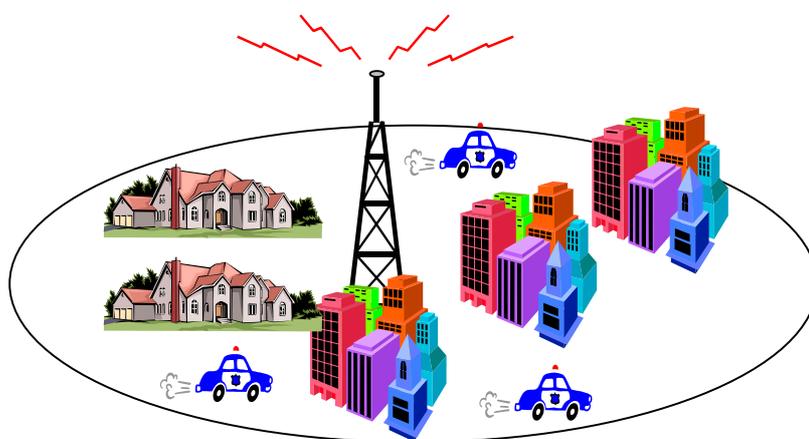



Figura 2.1 - Sistema móvel convencional

O grande problema destes primeiros sistemas (conhecidos hoje como sistemas convencionais) era tentar cobrir com um só transmissor uma grande região (uma cidade inteira por exemplo) com um número limitado de canais (devido a restrição regulamentar de uso de espectro de freqüências). Desta forma eles operavam com elevados graus de bloqueio, e a lista de candidatos pleiteando um terminal era maior do que a de usuários habilitados ao sistema. Esta situação só pode ser resolvida mais tarde com a introdução do conceito de células, que deram o nome à telefonia celular. No sistema celular esta grande região passa a ser dividida em áreas menores, chamadas *clusters*, que são por sua vez subdivididas em unidades menores ainda, as células. Sendo assim, célula é a área geográfica iluminada por uma ERB (Estação Rádio Base) dentro da qual a recepção do sinal atende as especificações do sistema.(figura 2.2.)

O conceito celular foi introduzido pela necessidade de re-uso espacial da faixa do espectro alocada para este serviço, o que resolveria o problema da alta probabilidade de bloqueio até então existentes.

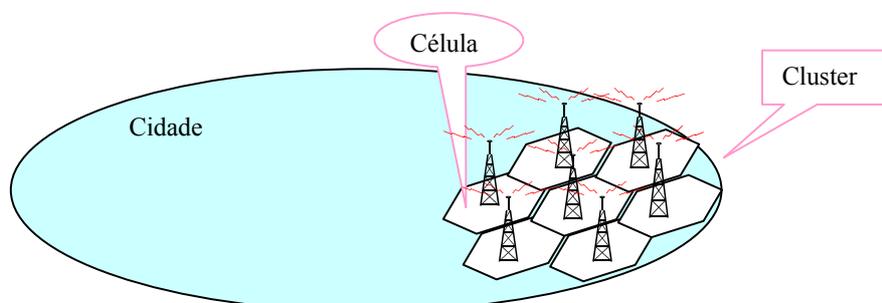



Figura 2.2 - Os conceitos de célula e "cluster"

Através da configuração celular o número limitado de canais de RF disponíveis pode ser utilizado em grupos diferentes de células (clusters), aumentando consideravelmente a capacidade de tráfego do sistema. Os canais são divididos entre as células de tal maneira que um determinado canal só estará presente em uma única célula do cluster,ou grupo.

O tamanho do grupo pode ser dimensionado para que o número de canais disponíveis seja suficiente ao atendimento aos usuários locais com o grau de serviço desejado. Como um só grupo não cobre toda a cidade sem recair no problema original, é necessário atentar para um novo fator, a **distância de reuso**. Colocando um grupo ao lado do outro, como mostra a figura 2.3, verifica-se que existe um espaçamento mínimo entre células que usam o mesmo conjunto de canais (mesmas freqüências) que limita a interferência entre estes a níveis aceitáveis, viabilizando assim o reuso de freqüências entre grupos adjacentes. Para cobrir toda a cidade basta então repetir o cluster de células

quantas vezes for necessário, formando um sistema celular. Utilizando-se então um sistema celular com reuso de freqüência pode-se ter cobertura teoricamente ilimitada.

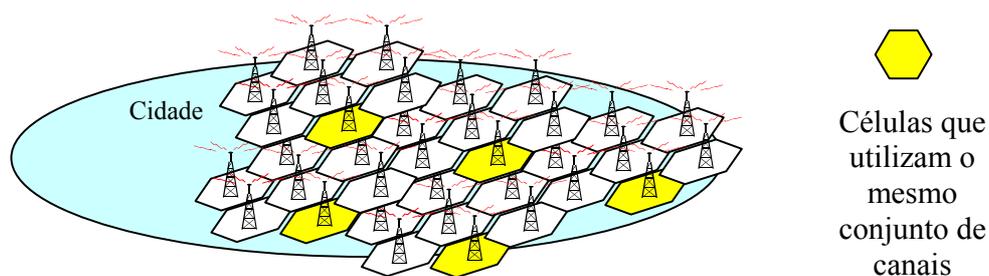



Figura 2.3 - O conceito de reuso de frequências

A configuração celular final deve atender basicamente a dois objetivos:

- cobertura radioelétrica.
- vazão de tráfego (tráfego atendido).

A cobertura radioelétrica corresponde à fração da área de serviço em que o sinal tem qualidade acima da mínima especificada ou tolerável. Além das características sistêmicas e de equipamentos, a cobertura radioelétrica depende principalmente das condições de propagação do sinal e das interferências nos diversos ambientes celulares.

A vazão de tráfego é a função da quantidade de canais disponíveis nas células, da taxa média de chamadas, da ocupação média de canais, das probabilidades de congestionamento (bloqueio) e de perda de conexão (ligação) durante deslocamentos intercelulares.

Tabela 2.1. - Comparação entre os sistemas móveis

Principais características dos sistemas móveis	
Sistemas móveis convencionais	**Sistemas celulares**
Baixa densidade de usuários	Alta densidade de usuários
Não reutilizam freqüências	Utilizam reuso de freqüências
Alta potência de transmissão	Baixa potência de transmissão
Antenas elevadas	Antenas pouco elevadas
Grande área de cobertura	Área de cobertura dividida em pequenas células
Sem expansão modular	Expansão modular ilimitada (teoricamente)

II.2. Componentes do Sistema

O sistema celular é basicamente composto de 3 elementos principais:

- Central de comutação e controle – CCC (*Mobile Switching Center – MSC*)
- Estação rádio base – ERB (em inglês *Base Station – BS*)
- Estação ou terminal móvel – EM (em inglês *Mobile Station – MS*)

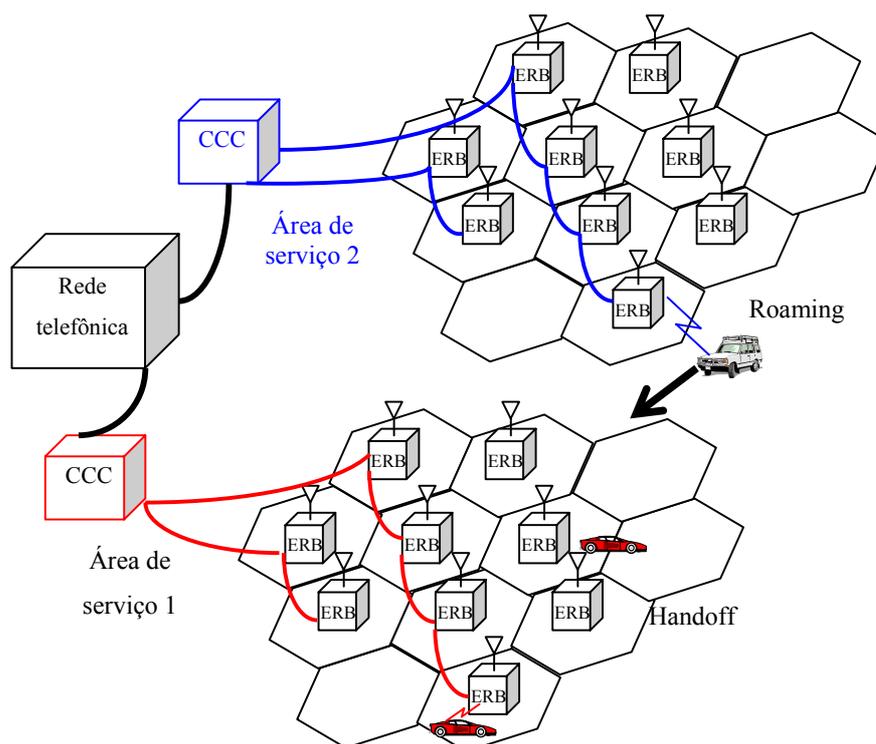



Figura 2.4 - Componentes de um sistema celular

II.2.1. CCC – Central de Comutação e Controle

A CCC é composta pelo processador central do sistema no qual estão ligadas todas ERBs, fornecendo a interface entre os canais de comunicação associados com a Central Local, Tandem ou Trânsito. Possui a finalidade de controlar e comutar as chamadas do sistema além de realizar todo o processamento de uma central digital mais as funções específicas do sistema celular.

A CCC pode servir a uma grande área geográfica e todas as chamadas, "de" e "para" as EM do sistema são controladas por ela.

Podemos dizer que a CCC é o "cérebro" do sistema e apresenta as seguintes funções:

- Interface com a rede de telefonia fixa;
- Interface com outros sistemas celulares;
- Comunicação com as ERBs;
- Controle das ERBs;
- Processamento das chamadas e handoff;
- Supervisão de tráfego;
- Funções de administração e manutenção do sistema;
- Registro de dados para tarifação e estatísticas.

Bastidores de uma CCC

II.2.2. ERB – Estação Rádio Base

As ERBs são responsáveis pela área de cobertura do sistema celular através de suas antenas de transmissão, permitindo o controle de todas as EMs, além de prover a interligação das EMs com a CC através de links de comunicação em RF. Tem como atividade principal trabalhar como repetidora da informação de voz e dados, bem como supervisionar a qualidade do enlace de transmissão durante a conversação. É composta por unidade de controle, transceptores rádio, antenas, planta de alimentação e terminais de dados.

Podemos citar suas principais funções, tais como:

- Interface de comunicação entre as unidades móveis e o restante do sistema;
- Alocação e controle dos canais de comunicação para as EMs;
- Sinalização com a EM e com a CCC.

Container de uma ERB

II.2.3. EM – Estação Móvel

A estação móvel consiste de uma unidade de conrtole, uma antena e de um transceptor, que é responsável pela interface entre o usuário e a estação rádio base, convertendo sinais em banda base em sinais de radio freqüência (RF) ou vice versa. Além de prover a comunicação de voz ou dados, a EM também realiza funções de controle e sinalização. Algumas funções são consideradas imprescindíveis em uma EM, tais como:

- Permitir a comunicação entre o usuário e o sistema;
- Varrer os canais de controle e identificar o que possui o sinal mais forte para sintonia;
- Responder a comandos enviados pelo sistema;
- Informar ao usuário o estado do sistema;
- Posicionar o sistema sobre tentativas de originar chamadas pela EM.

Devemos lembrar também que todas as EMs devem seguir rigorosamente um padrão, independentemente de sua classe, afim que possam funcionar junto ao sistema de qualquer fabricante.

As EMs podem ser classificadas de acordo com o tamanho (e potência) em 3 tipos:

Tabela 2.2 - Classes de estações móveis

Classe	Potência máxima nominal	Tipo
I	3 W	veicular
II	1,2 W	transportável
III	0,6 W	portátil

- Veicular

Utiliza a bateria do próprio veículo e necessita de uma antena normalmente montada no teto.

- Transportável

A Estação Móvel Transportável oferece ao usuário uma potência de 3,0 W e conseqüentemente uma melhor transmissão e recepção de sinais a longa distância da ERB. É um aparelho que possui baterias de maior autonomia e por isso se torna mais pesado.

- Portátil

A Estação Móvel Portátil permite ao usuário o transporte com facilidade devido ao seu tamanho reduzido. Possui uma potência de 0,6 W, com possibilidade de aumento para até 3,0 W acoplando um amplificador de potência. Esta estação também pode ser acoplada a um kit veicular, que inclui alimentação via acendedor de cigarros, amplificador de potência, antena externa, microfone e alto-falante para o uso do sistema viva-voz.

II.3. Arquitetura Básica do Sistema

Um sistema móvel celular pode ser construído com uma arquitetura centralizada ou descentralizada. Na arquitetura centralizada uma única CCC controla as ERBs(figura 2.5a).Em uma arquitetura descenrtalizada o controle é obtido por um conjunto de CCCs que se comunicam entre si.(figura 2.5b).

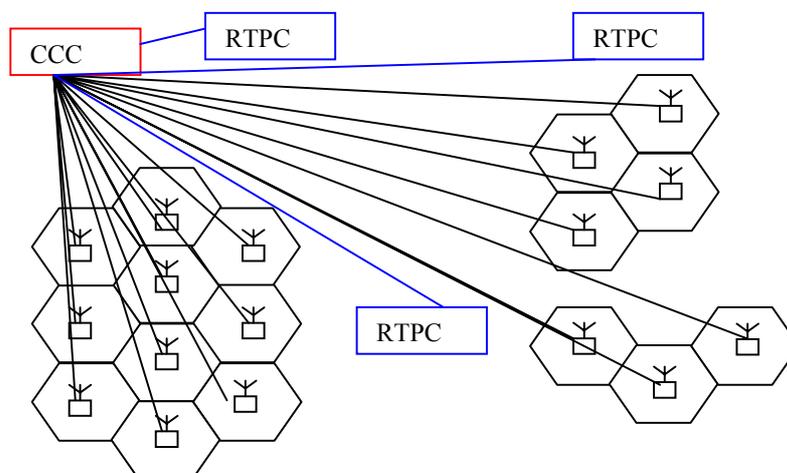



Figura 2.5a

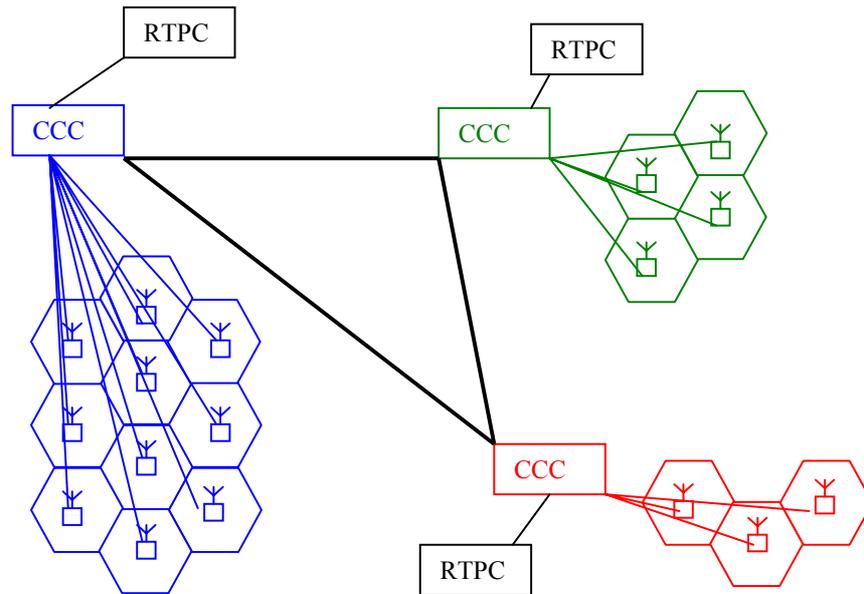
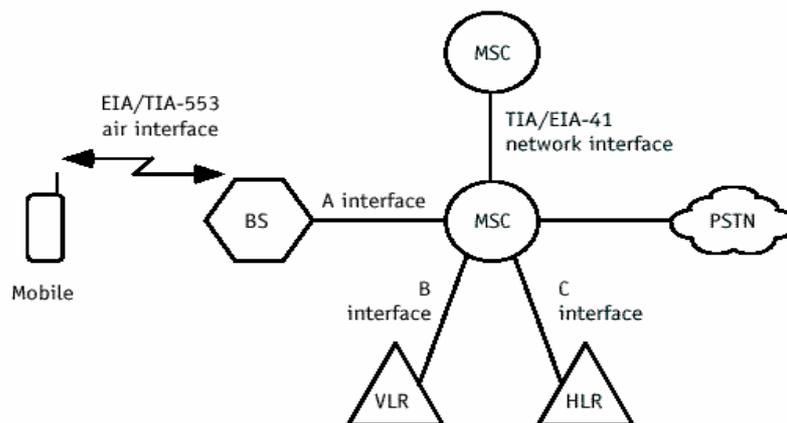



Figura 2.5b

II.4. Rede Básica

A rede básica consiste em grande parte dos seguintes componentes:

- Rede Móvel Terrestre Pública (PLMN)
- Sistema de Sinalização número 7 (SS7)
- Home Location Register (HLR)
- Rede de Telefonia de Comutação Pública (PSTN)

Elementos de uma rede básica

II.4.1. Rede Móvel Terrestre Pública – PLMN

A Rede Móvel Terrestre Pública (PLMN) é a rede formada pelo sistema celular, como já foi dito anteriormente os seus componentes são:

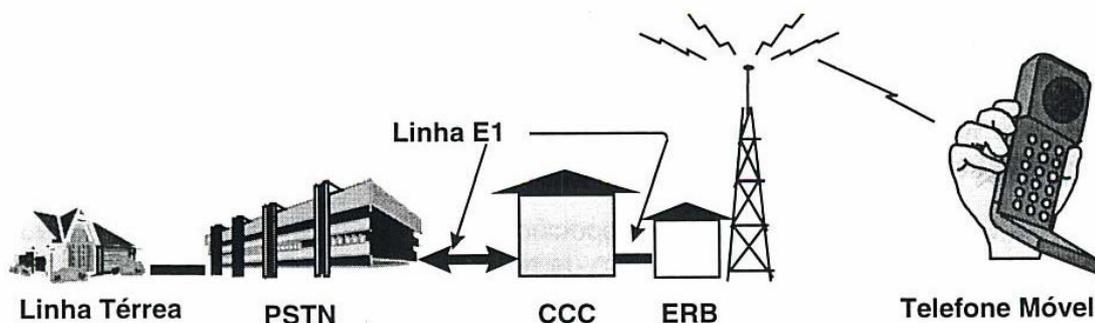
- EM
- ERB
- CCC
- Cada PLMN é uma rede composta por componentes que estão agrupados em áreas.
- A célula é a unidade básica da PLMN. A rede de telefonia móvel é dividida em muitas células. As células são controladas por uma ERB que está conectada a uma CCC.
- Células podem ser agrupadas para formar uma Área de Localização.
- Áreas de Localização, controladas por uma CCC podem ser agrupadas para formar uma Área de Serviço.
- Uma ou mais Áreas de Serviço são combinadas para formar a PLMN.

II.4.2. Sistema de Sinalização Número 7 – SS7

O Sistema de Sinalização Número 7 (SS7) foi desenvolvido para a implementação da comunicação de rede de telecomunicações. A função primária do SS7 é transferir mensagens entre centrais em um formato padrão que pode ser lido por qualquer central compatível com SS7.

II.4.3. Rede de Telefonia de Comutação Pública – PSTN

A PLMN é a rede constituída de componentes celulares. A PSTN é constituída de centrais, base de dados e conexões para clientes fixos. As redes celulares estão conectadas à PSTN para enviar chamadas móveis para telefones fixos e para fornecer

serviços tais como: roaming, registro e handoff a fim de criar uma rede sem interrupção (seamless). A rede PSTN no Brasil utiliza Sistema de Sinalização Número 7, para comunicar com a PLMN.

II.4.4. Home Location Register – HLR

O HLR é uma base de dados para um certo número de assinantes. O HLR contém todos os dados do assinante móvel, tais como: identidade, serviços suplementares e informações sobre localizações necessárias para o encaminhamento das chamadas de entrada.

O HLR é normalmente dividido por um grupo de CCCs. Ele se comunica com os outros nós da rede via enlaces de sinalização. Nenhuma conexão de conversação será estabelecida.

Em redes que contém um HLR, os assinantes estão sempre em roaming do ponto de vista da CCC. Quando requisitado, o HLR fornece a informação do assinante a um registrador em uma das CCCs cooperantes . Aquela central é então responsável pelo estabelecimento da chamada, supervisão, desconexão, localização, handoff, tarifação e etc. O HLR não controla tarifação.

II.5. Roaming

É quando uma EM utiliza os serviços de um sistema celular fora da área de serviço do seu sistema original. A utilização dos serviços de outros sistemas é possível, de acordo com o protocolo de Sinalização por Canal Comum número 7 – SS7, devido à conexão das CCCs através da PSTN (Public Switched Telephone Network) ou RTPC (Rede de Telefonia Pública Comutada) e a criação ou registro do usuário móvel visitante – roamer – no sistema hospedeiro.

O roaming pode ser dividido em:

- Manual: a validação do assinante é feita pessoalmente, entrando em contato com a administração da nova área.
- Automático: quando a operação é feita automaticamente sem a necessidade de intervenção do assinante.

II.6. Handoff

O processo de handoff, ocorre quando a EM desloca-se de uma célula para outra durante o estado de conversação. A ERB verifica que o nível do sinal da EM está diminuindo e então informa ao sistema, o qual irá procurar entre as células vizinhas qual possui o melhor sinal. O sistema por sua vez informa à EM via canal de controle para ocupar um dos canais de voz desta nova célula. Este processo recebe o nome de handoff intercelular.

Existe também o handoff intracelular que ocorre quando apesar de o nível do sinal estar num valor aceitável, a relação sinal-ruído está alta, isto pode acontecer devido à interferência co-canal ou por um efeito interferente externo (ruído de ignição por exemplo). Ao identificar o problema a ERB informa a CCC, que escolhe um outro canal dentro da mesma célula e efetua a mudança.

O conceito do sistema celular determinou a elaboração do processo de handoff, já que é muito comum durante uma conversa que a EM mude de célula. Nesta situação o sistema não pode simplesmente derrubar a ligação e exigir que o usuário volte a ligar, pelo contrário, os algoritmos de handoff permitem a troca de célula de uma maneira que a chamada não seja interrompida.

Caso a CCC não encontre células com canais que possuam o nível de sinal superior ao mínimo exigido, ou até mesmo não encontre canais disponíveis, a CCC deixará a chamada como está, até que a EM perca o sinal. Pode se dizer que o handoff preserva a integridade do sistema.

II.7. Geometria Celular

Idealmente, assumindo que as condições de propagação não mudem ao longo dos diferentes radiais, a área de cobertura de uma estação rádio base é um círculo (cobertura omnidirecional). Todavia, círculos não representam a cobertura de um conjunto de

células pois a não ser que seja provocada superposição de cobertura de diferentes ERBs, ocorreriam áreas sem cobertura (figuras 6a e 6b). Neste caso, se tivermos as mesmas condições de propagação sobre a área das células, e na ausência de bloqueios naturais ou artificiais ao sinal, o melhor servidor será o de menor distância ao terminal, e a fronteira entre áreas de cobertura é o lugar geométrico eqüidistante das estações rádio base (figura 2.6c).

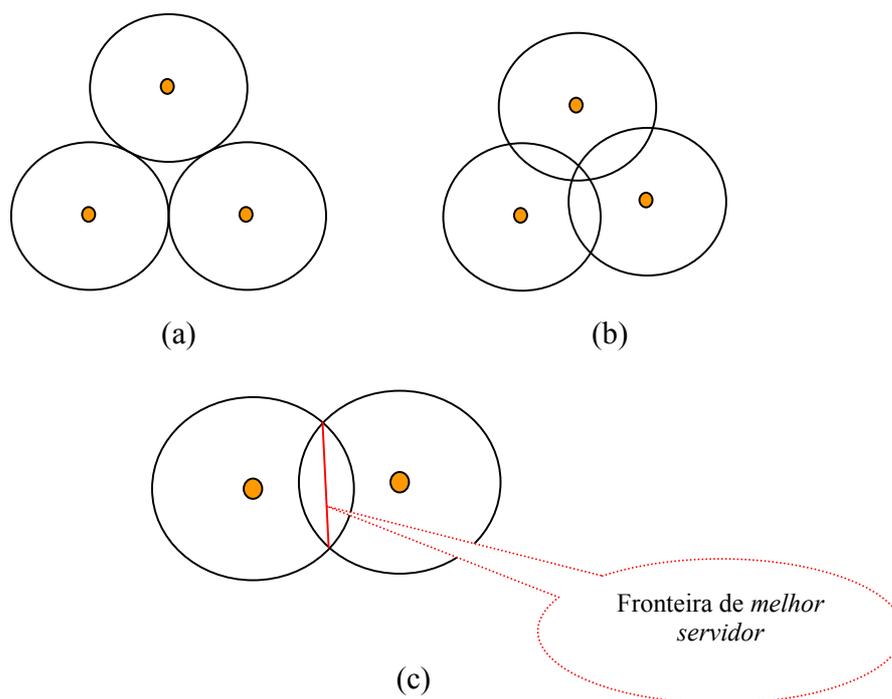



Figura 2.6 - Cobertura em sistemas de múltiplas células

Assim, num sistema de múltiplas células a cobertura do melhor servidor em cada ponto corresponde a um polígono. Dependendo da simetria escolhida na disposição das ERBs, as células são representadas por padrões regulares de polígonos como por exemplo hexágonos, quadrados ou triângulos (figura 2.7).

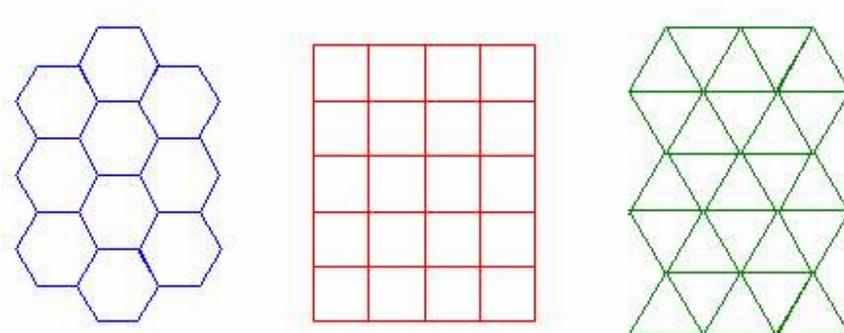



Figura 2.7 - Geometria de padrões regulares

Para a determinação da distância de reuso e o cálculo da interferência em sistemas de múltiplas células,utiliza-se a geometria de padrões regulares(quadrangular, triangular, hexagonal, hexagonal com simetria rotacional) tomando como distância unitária o raio do círculo circunscrito ao polígono considerado.

A ERB deve estar localizada no centro, que é o único ponto eqüidistante de todos os vértices do polígono (dependendo da topografia da região a ERB pode não estar localizada no centro para melhor a cobertura). Certos pontos devem ser analisados com maior cuidado, como por exemplo os vértices que são os locais onde a comunicação entre EM e ERB está no pior caso, pois ao mesmo tempo em que a EM está o mais longe possível da ERB "atual" se encontra mais perto das ERBs adjacentes, o que proporciona dois tipos de interferência, a interferência de canal adjacente e a interferência cocanal.

II.8. Características das configurações celulares hexagonais

Normalmente a geometria utilizada é a hexagonal com simetria rotacional, pois este padrão assegura uniformidade nos níveis de interferência entre células utilizando o mesmo conjunto de canais em grupos *(clusters)* distintos porque representa a área de cobertura considerando o melhor servidor (best server). A cobertura de um grupo básico de 7 células com este tipo é ilustrada na figura 2.8. Esta configuração básica, embora seja a mais óbvia, não é a única possível, como será mostrado a seguir.

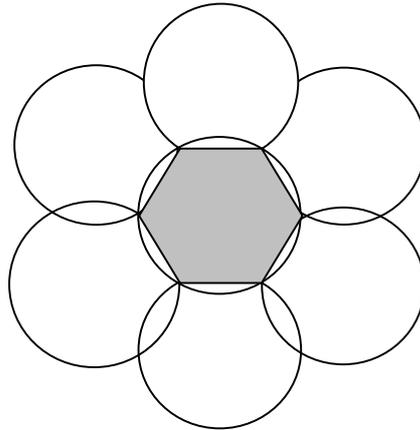
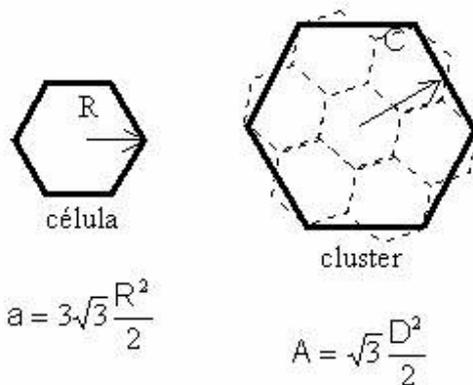



Figura 2.8 - Cobertura de um grupo hexagonal de 7 células

II.8.1. Número de células por grupo(cluster)

Supondo que o formato de um cluster é hexagonal, podemos determinar os números possíveis de células por cluster. Para isso utilizam-se as seguintes definições:

a - área da célula

A - área do cluster

Diretamente determinamos o número de células (N) por grupo:

$$N = \frac{A}{a} = \frac{D^2}{3R_c^{\ 2}}$$

Onde:

D – distância entre dois grupos

Rc – raio da célula

Sendo a distância entre células hexagonais dada por:

$$D = \sqrt{i^2 + ij + j^2}\,\sqrt{3R_c^{\ 2}}$$

Obtemos:

$$N = i^2 + ij + j^2$$

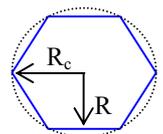
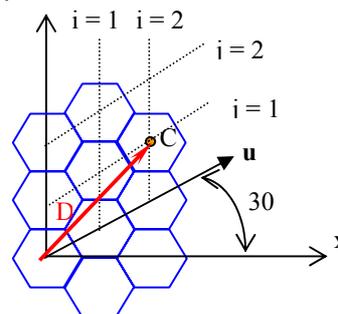
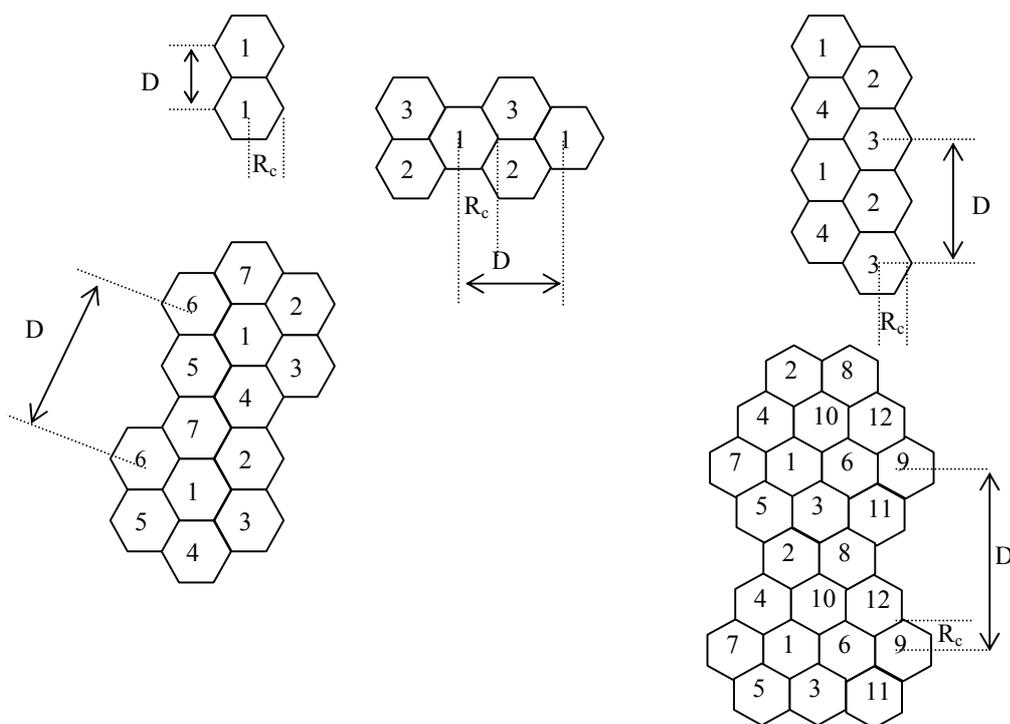
A partir desta expressão e observando que i e j são números inteiros, o cluster só terá determinado número de células.

1 – i=0 / j=1 ou i=1 / j=0

3 – i=1 / j=1

4 – i=0 / j=2 ou i=2 / j=0

7 – i=1 / j=2 ou i=2 / j=1

9 – i=0 / j=3 ou i=3 / j=0

Esta quantidade de células por cluster com o padrão hexagonal é ilustrada na figura abaixo:

II.8.2. Razão de Reuso

Um parâmetro importante no planejamento de um sistema celular(que será um capítulo a parte) é a razão de reuso, que determina a interferência co-canal (relacionada à qualidade do sistema) e ao mesmo tempo limita a capacidade de tráfego do sistema.

O parâmetro $D/R_c = q$ é conhecido como razão de reuso co-canal e pode ser expresso por:

$$q = \frac{D}{R_c} = \sqrt{3N}$$

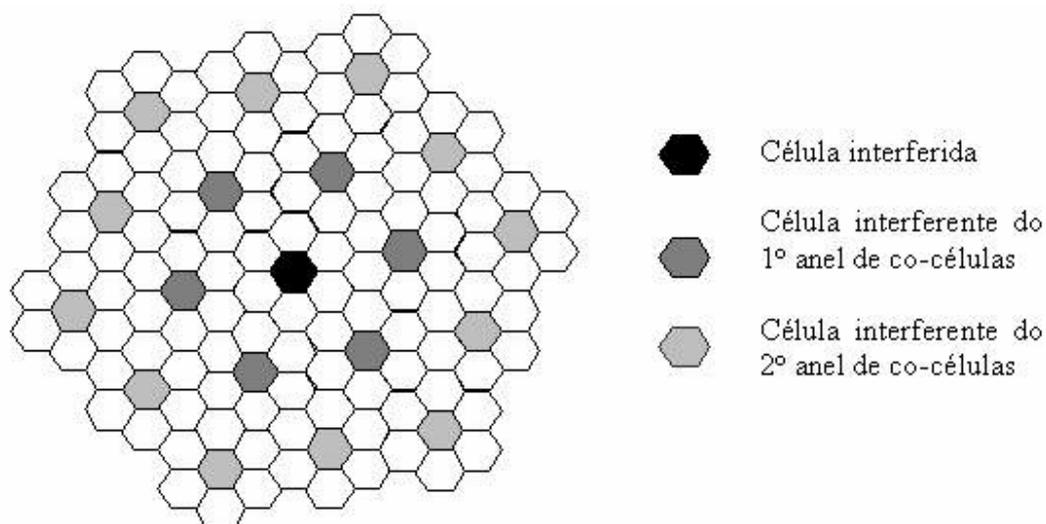
A tabela a baixo exemplifica as características dos sistemas de acordo com a variação da razão de reuso, percebe-se que se a razão de reuso for aumentada a interferência co-canal diminuirá., em contrapartida o número de células por cluster

aumenta, o que representa uma diminuição da capacidade de tráfego do sistema já que o número de canais por célula diminui (partindo do princípio que a quantidade total de canais do sistema é constante).

A escolha da razão de reuso co-canal é, portanto, um compromisso entre a capacidade de tráfego e a qualidade do sistema (quanto menor a interferência co-canal, maior a qualidade do sistema).

Células / cluster	D/R_c	Capacidade de tráfego	Qualidade de transmissão
1	1.73	Maior	Pior
3	3.00		
4	3.46		
7	4.58		
9	5.20		
12	6.00	Menor	Melhor

II.8.3. Interferência co-canal

A interferência co-canal é causada pelo uso de uma freqüência próximo ao local com a mesma freqüência. Numa configuração celular com simetria hexagonal, este tipo de interferência pode ser analisado considerando 6 células interferentes a uma distância *D*, 12 células interferentes a uma distância *2D* e assim sucessivamente.

Para um número fixo de anéis e um mesmo valor do fator de variação da perda de propagação com a distância, quanto maior é o fator de reuso cocanal , ou seja, maior o valor de N, maior é a relação S/I. Entretanto,um aumento no fator de reuso cocanal(aumento no valor de N) implica um menor número de canais por célula disponíveis para atender o tráfego,acarretando numa redução na capacidade do sistema. Existe então um forte compromisso entre a capacidade e a interferência.

II.8.4. Interferência de Canal Adjacente

O problema causado pela interferência de canal adjacente é significativo se um usuário de uma célula opera num canal adjacente ao canal utilizado por outra célula próxima. A interferência de canal adjacente é dada por:

$$ICA = -10\log\left[\left(\frac{d_I}{d_C}\right)^{\gamma}\right] - IC \qquad \text{onde :}$$

dI = Distância entre a ERB que contem o canal adjacente interferente e o móvel.

dC = Distância entre a ERB que possui o canal desejado e o móvel.

IC = Isolamento de canal adjacente, dependente da filtragem (valor típico 26 dB)

O pior caso de interferência de canal adjacente acontece quando o móvel está próximo à fronteira entre duas células que operam em planos de frequência que utilizam canais adjacentes. Neste caso as distâncias dI e dC são aproximadamente iguais e ICA = -IC.

A figura 2.9a mostra a versão otimizada do plano de reuso de frequência N = 7 do ponto de vista da interferência de canal adjacente, que só é significativoaentre duas duplas de células: 1-2 e 1-7. No caso não otimizado da figura 2.9b, têm-se 7 duplas de células com interferência de canal adjacente. Estas duplas são: 1-2, 1-7, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6 e 6-7. O reuso de frequência produz um aumento das duplas de células com interferência de canal adjacente, como ilustra a figura 2.9:

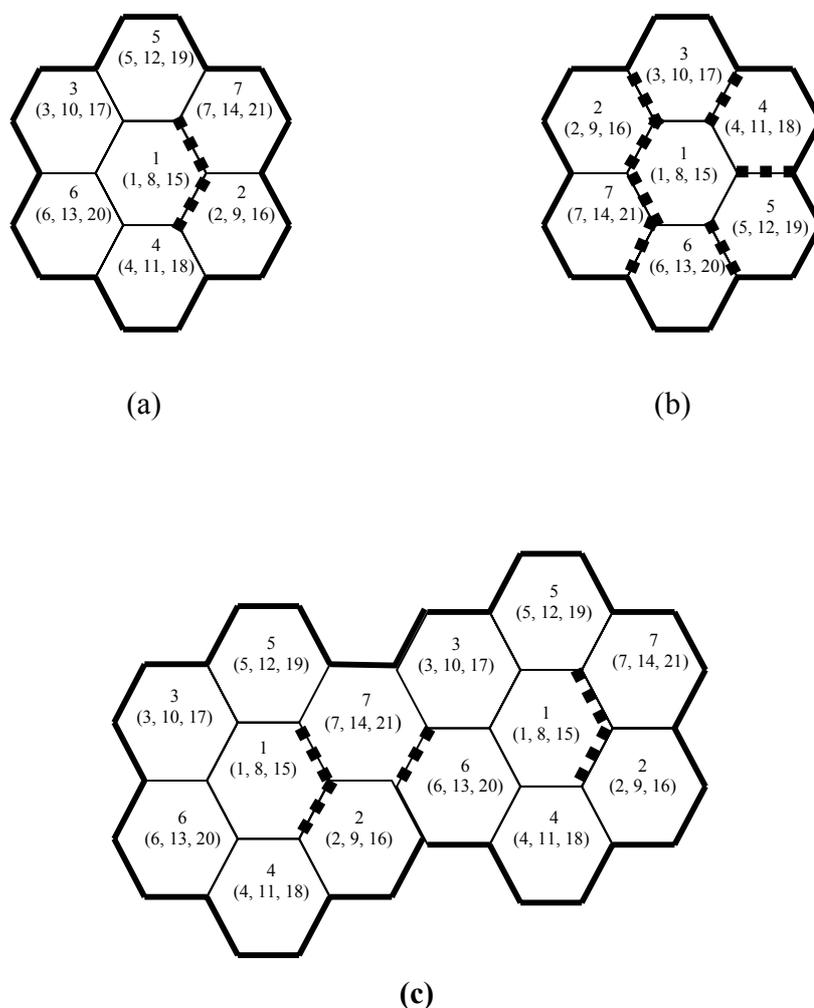



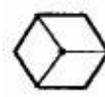
Figura 2.9 - Interferência de canal adjacente devido ao reuso de frequências

II.8.5. Setorização

Normalmente a setorização é utilizada em regiões de alta complexidade de planejamento, como os grandes centros urbanos. Basicamente consiste na divisão da célula em setores, onde cada um desses setores será coberto por um conjunto de antenas, a divisão pode ser em 3 ou 6 setores. A soma dos canais dos diversos setores cobertos por uma ERB é igual ao número de canais alocados para uma célula. A cobertura setorial é obtida com antena própia e cuja diretividade deve ser tal que cubra apenas o respectivo setor. A forma mais comum consiste de 3 setores de aproximadamente 120º.

Setorização de 120º

A redução da interferência é o grande benefício proporcionado pela introdução da setorização, nos sistemas FDMA e TDMA ocorrem uma redução da capacidade de tráfego dos clusters. Já no CDMA a redução da interferência consiste diretamente num aumento da capacidade de tráfego.

É necessária a definição de um handoff quando uma estação móvel passa de um setor para outro.

Célula omnidirecional Célula com 3 setores

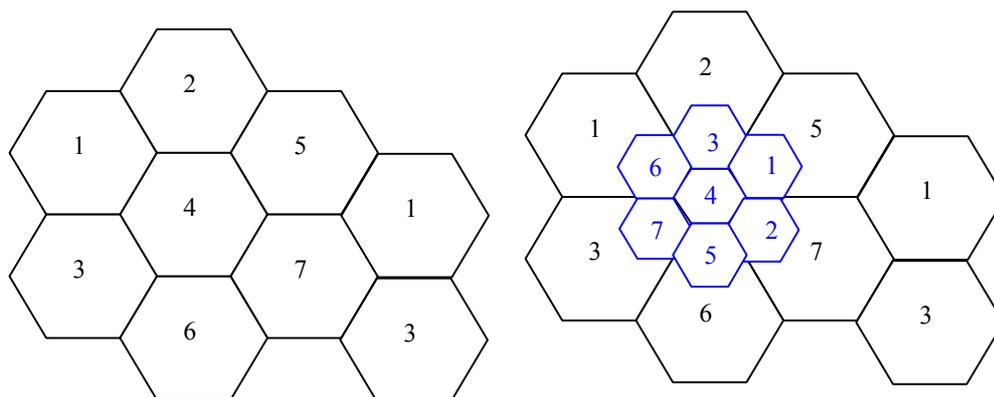
Esta cobertura setorizada com antenas diretivas reduz o número de interferências co-canais. Consequentemente, permite diminuir a separação entre células co-canais em relação ao caso sem setorização. A maior aproximação permitida entre células co-canais

pela setorização possibilita utilizar grupos menores , o que aumenta a capacidade do sistema.

II.8.6. Divisão celular

A divisão celular ("cell spliting") é o processo utilizado para aumentar o número de grupos de células numa deterinada área de serviço,com o objetivo de se atender o aumento de demanda de tráfego.Ou seja, em cada fase de expansão da capacidade do sistema deverá ser implementada uma divisão celular.

Etapas suecessivas de divisão celular originarão células de dimensões progressivamente menores, podendo originar novos tipos de células.Nem todas as células deverão sofrer divisão celular, mas apenas aquelas onde foi constatada a necessidade de um aumento populacional de usuários.Entretanto, é recomendável que seja mantido o tamanho de grupo original de células para facilitar futuras alocações de canais.

Deve-se observar que uma redução do raio da célula por um fator k reduz a área por um fator k^2, obrigando um aumento do número de estações radio base também por um fator k^2. Com o crescimento do número de células haverá também o crescimento do número de handoffs.

Representação de uma divisão celular

II.9. Tipos de Células

II.9.1. Células com ERB Omnidirecional

Neste exemplo a ERB é equipada com antena transmissora/receptora omnidirecional, que no caso ideal transmitiria a mesma potência em todas as direções, formando assim uma área de cobertura (célula) circular, com a ERB no centro. Este tipo de configuração é normalmente utilizado em regiões de baixa complexidade de planejamento celular, como em áreas suburbanas, rurais e rodovias, uma área relativamente grande com tráfego pequeno.

Célula omnidirecional

II.9.2. Células com ERB Setorizada

Aqui a ERB é equipada com 3 conjuntos de antenas direcionais (setorização tripla), cada uma cobrindo uma área de 120o. Neste caso, um certo conjunto de canais é conectado à antena que ilumina a primeira célula, um outro grupo de canais será alocado à antena que ilumina a segunda célula e os restantes à terceira antena, fazendo com que a ERB cubra três células.

Este tipo de configuração é normalmente utilizado em regiões de alta complexidade de planejamento celular, como os grandes centros urbanos, que são áreas reduzidas com alta taxa de tráfego. Com esta configuração a interferência é reduzida.

Célula setorizada

II.10. Capacidade e Tráfego

Em sistemas celulares a população de usuários é superior ao número de canais disponíveis.Isto exige um compartilhamento automático o que omente é possível se o sistema for troncado.O tronqueamento (“trunking”) implica numa alocação temporária de canais para usuários, ou seja, assim que um determinado canal for desocupado ele estará novamente disponível para a sua popaulação.

O compartilhamento ocorre com determnada probabilidade de bloqueio para conexões à rede (congestionamento). Esta probabilidade de bloqueio define o grau ou categoria de serviço, sendo função do número de canais disponíveis, do tamanho da populaçào de usuários, do tráfego de usuários e da taxa média de handoff.

A probabilidade de bloqueio (P_B) tem sido especificada como um dos objetivos de dimensionamento. A intensidade de tráfego médio de usuário(T_U) , expresso em Erlangs, é definido como o produto da taxa média deconexões ou acessos (

II.11. Hierarquia Celular

Esta hierarquia é definida de acordo com o tráfego a ser atendido, se o tráfego for intenso são utilizadas ERBs de baixa potência para diminuir o tamanho da célula, sendo assim o mesmo número de canais (limitado) irá atender uma quantidade menor de usuários, diminuindo a probabilidade de bloqueio. Já para regiões suburbanas o tamanho da célula (potência da ERB) pode ser maior, já que a quantidade de usuários é menor.

O tamanho da célula de uma ERB depende dos seguintes fatores:

- Potência de saída do rádio transmissor;
- Banda de freqüência utilizada;
- Altura e localização da antena;
- Inclinação da antena;
- Tipo da antena;
- Topografia da região;
- Sensibilidade do receptor.

II.12. Introdução às Frequências

Para separar as bandas de freqüência de 800-MHz e 1.900-MHz daquelas alocadas individualmente em cada banda, elas são chamadas hiperbandas. A hiperbanda de 800-MHz se estende de 824 MHz a 894 MHz no espectro de operação celular tradicional norte-americano e a distância duplex de separação nos canais de subida e decida (TX / RX) é de 45-MHz ao passo que, para a hiperbanda 1900-MHz, a primeira freqüência de

operação é 1850 MHz, se estendendo até, aproximadamente 1990 MHz no espectro PCS. Nesse caso, a separação entre os canais de subida e descida é de 80 MHz.

Cada hiperbanda é dividida em canal de RF cuja largura de banda é de 30 KHz. Pares de canais duplex são associados. Existem cerca de 833 pares de canal duplex na hiperbanda de 800 MHz e 1999 pares de canal duplex na hiperbanda de 1900 MHz. O primeiro e os últimos canais em ambas as hiperbandas são usados como canais de guarda (em virtude de problemas de interferência).

O padrão TIA/EIA-136 fornece flexibilidade na alocação dos espectros de freqüência para a operação. Por exemplo, no Estado do Rio de Janeiro existem dois sistemas designados como as bandas A e B.

Cada banda possui uma quantidade de 416 canais duplex, correspondendo a aproximadamente 12,5 MHz de largura de banda total para cada sistema. Já na hiperbanda de 1900 MHz, podemos identificar 6 sistemas diferentes de operação simultânea. Estas são as bandas A, B, C, D, E e F.

As bandas A, B e C podem alocar 15-MHz, enquanto as bandas D, E e F podem alocar 5-MHz.

DUPLEXAÇÃO NA HIPERBANDA DE 800 MHz

SISTEMA	NÚMERO DE CANAIS	RANGE DE CANAIS	INTERVALO DA FREQ. CENTRAL DE TX DO MÓVEL (MHz)	INTERVALO DA FREQ. CENTRAL DE TX DA ERB MHz
Not used	1	990	824.010	869.010
A"	33	991-1023	824.040-825.000	869.040-870.000
A	333	1-333	825.030-834.990	870.030-879.990
B	333	334-666	835.020-844.980	880.020-889.980
A'	50	667-716	845.010-846.480	890.010-891.480
B'	83	717-799	846.510-848.970	891.510-893.970

HIPERBANDA DE 1900 MHz

BANDA	NÚMERO DE CANAIS	RANGE DE CANAIS	INTERVALO DA FREQ. CENTRAL DE TX DO MÓVEL (MHz)	INTERVALO DA FREQ. CENTRAL DE TX DA ERB MHz
Fora de uso	1	1	1,850.010	1,930.050
A	497	2-498	1,850.040-1,864.920	1,930.080-1,944.960
A e D	3	499-501	1,864.950-1,865.010	1,944.990-1,945.050
D	164	502-665	1,865.040-1,869.930	1,945.080-1,949.970
D e B	2	666-667	1,869.960-1,869.990	1,950.000-1,950.030
B	498	668-1,165	1,870.020-1,884.930	1,950.060-1,964.970
B e E	2	1,166-1,167	1,884.960-1,884.990	1,965.000-1,965.030
E	165	1,168-1,332	1,885.020-1,889.940	1,965.060-1,969.980
E e F	2	1,333-1,334	1,889.970-1,890.000	1,970.010-1,970.040
F	164	1,335-1,498	1,890.030-1,894.920	1,970.070-1,974.960
F e C	3	1,499-1,501	1,894.950-1,895.010	1,974.990-1,975.050
C	497	1,502-1,998	1,895.040-1,909.920	1,975.080-1,989.960
Fora de uso	1	1,999	1,909.950	1,989.990

Capítulo III – O Padrão GSM

III.1. Histórico

O primeiro sistema celular a entrar em operação comercial na Europa foi o NMT 450 (Nordic Mobile Telephone) que, na época de seu lançamento tinha como objetivo introduzir o serviço celular para usuários dos países nórdicos. O sistema foi lançado na Suécia em 1981, com posterior expansão para Noruega, Dinamarca e Finlândia.

Da mesma forma que o sistema AMPS, o NMT 450 possuía modulação analógica, células de raio muito grande e baixa capacidade. Na época do lançamento destes sistemas, a telefonia celular ainda era vista como um serviço auxiliar. Nem mesmo as previsões mais otimistas previam um crescimento tão grande quanto o que ocorreu no decorrer da década de 80.

Logo após o lançamento do NMT 450, diversos outros sistemas foram lançados nos demais paísesdo continente europeu. Devido à ausência de padronização entre os orgãosregulamentadors dos diferentes países, não foi elaborada uma norma que permtisse a compatibilidade entre os diferentes sistemas. Desta forma, cada país europeu praticamente adotou sua própia norma, na qual a banda de operação, a largura dos canais, as potências de transmissão, os protocolos de comunicação, enfim, todas as características técnicas apresentavam diferenças com a de outros países vizinhos.

Sistema	Nordic Mobile Telephone	Total Access Communication System	Nordic Mobile Telephone	Radicom 2000
Início de operação	1981	1985	1986	1985
Frequência de transmissão do terminal móvel (MHz)	450	890	890	VHF, UHF e 900
Frequência de transmissão da estação rádio-base (MHz)	460	935	935	VHF, UHF e 900
Largura de Banda (MHz)	4.5	2 x 7,5	2,5	3,2
Largura dos canais (KHz)	25	25	25	12,5
Número de canais	180	2 x 300	1000	256
Países que utilizam	Suécia,Noruega, Dinamarca, Finlândia, Islandia,Áustria, Bélgica, Espanha, Luxemburgo,Holanda	Reino Unido, Áustria, Espanha, Irlanda, Itália	Suécia, Noruega, Dinamarca, Filândia,Holanda, Suíça	França

Alguns dos padrões celulares europeus são listados na tabela 3.1. Pode-se perceber a grande quantidade de países que adotavam mais de um sistema.

Para os usuários esta grande diversidade de sistemas era um grande problema, pois não era permitido que os telefones celulares de um país fossem utilizados em outro país com m sistema diferente. Num continente tão subdividido como a Europa, este problema se tornou crítico com o crescimento do número de usuários nos sistemas.

III.2. Desenvolvimento do padrão GSM

Para possibilitar a unificação dos diferentes sistemas celulares até então existentes na Europa seriam necessárias mudanças muito grandes nas normas vigentes, uma vez que os sistemas operavam segundo padrões muitas vezes bem diferentes.Esta grande variação das normas motivou criação de um novo padrão, desenvolvido gradualmente com a participação dos órgãos regulamentadores de diversos países com futuras operadoras do novo sistema.

Seguindo a diretriz de criar um sistema celular Pan-Europeu, em 1982 foi criado dentro do CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécomunications) um grupo responsável pela padronização deste novo sistema denominado Group Special Mobile (GSM), one sua primeira reunião ocorreu em 1982, em Estocolmo, com a presença de representantes de 11 países.

Os primeiros dois anos do GSM foram dedicados à discussão dos princípios fundamentais do novo sistema. A partir daí foram criados três grupos de trabalho (Working Parts) para discussão mais detalhada dos aspectos técnicos do sistema:

- WP1 – Definição dos serviços a serem oferecidos.
- WP2 – Especificação da transmissão por rádio
- WP3 – Arquitetura de rede, protocolos de sinalização e interfaces entre diversas partes do sistema.

Cada grupo de trabalho possuía autonomia para se reunir e estabelecer soluções para os problemas encontrados dentro das respectivas áreas.

Em 1985 uma detalhada lista de recomendações elaborada durante o processo de normatização foi emitida pelo grupo de estudo GSM, contendo cerca de 100 tópicos,

divididos em 12 áreas. O trabalho do grupo entre 1986 e 1991 concentrou-se na elaboração destas recomendações, que em sua versão final abrangeu 130 tópicos, discutidos em mais de 5000 páginas.

Paralelamente a especificação das normas GSM, as futuras operadoras do sistema assinaram em 1987 um Memorandum of Understanding (conhecido como GSM MoU), visando estabelecer regras para facilitar a cooperação comercial e operacional da futura rede celular. Este documento discutia entre outros tópicos:

- Cronograma para lançamento do novo sistema em operação comercial
- Compatibilidade da numeração e do roteamento das chamadas
- Compatibilidade de tarifação.

O nome do grupo foi posteriormente mudado para Global System for Mobile Communicatios, mantendo a sigla GSM.

Tabela 3.2: Resumo da história do GSM

ANO	**EVENTO**
1982-1985	Especificação por parte da CEPT de um padrão de telecomunicações digital europeu na faixa de 900MHz, conhecido como GSM.
1986	Escolha do TDMA e FDMA como tecnologias de transmissão.
1987	Operadoras de 12 países assinam um Memorando de Comprometimento, para implantação do GSM até 1991.
1988	CEPT define especificações do GSM para implementação em fases.
1989	ETSI assumiu a responsabilidade pela especificação do GSM.
1990	Fabricantes começam a desenvolver equipamentos de rede.
1991	Lançado padrão GSM 1800.
1992	Lançada primeira fase comercial de redes GSM. Definido primeiro acordo de roaming internacional entre a Telecom da Finlândia e a Vodafone da Inglaterra.
1993	GSM passa a ter 70 países signatários. Lançado sistema DCS 1800 na Inglaterra.
1993	Número de usuários chega a 3 milhões.
1995	Desenvolvida nos EUA, a especificação para Serviços de Comunicação Pessoais (PCS), versão do GSM para a faixa de 1900MHz.
1998	Rede GSM com um total de 253 membros em mais de 100 países com 70 milhões de usuários no mundo.
2000	Implantação no Brasil do SMP (Serviço Móvel Pessoal), na faixa de 1800MHz.

III.3. GSM no Mundo

A partir da implementação dos primeiros operadores de GSM na Europa, pode-se dizer que o sistema ganhou usuários em quase todos os componentes.Atualmente é possível encontrar sistemas GSM implantados em locais como: Oriente Médio, África do Sul, Norte da África, Austrália, Nova Zelândia, China, Malásia, Singapura, Hong Kong.

Uma nova versão do GSM, o DCS 1800 baseado nas especificações do GSM 900, foi posteriormente desenvolvida para Personal Communications (PCN). Após a introdução do novo padrão no Reino Unido, diversos países da Europa e da Ásia adotaram também este padrão. A principal diferença do GSM 900 e do GSM 1800 é a quantidade de recursos de rádio. GSM 900 tem 125 canais de 200 KHz cada, enquanto que GSM 1800 tem 375 canais de 200 KHz.

No continente americano a penetração do GSM também ocorreu com a introdução do PCS 1900 que, na verdade, trata-se de uma adaptação do DCS 1800 para a faixa de frequências e padrão de sinalização do mercado norte-americano. A especificação do PCS 1900 está a cargo do ANSI (American National Standard Institute) ao invés da ETSI.

Diversas operadoras de PCS (Personal Communications System) nos Estados Unidos já fizeram a opção pelo PCS 1900 como padrão para os seus sistemas.O PCS ocupa a banda de frequências de 1850 a 1910 MHz para a transmissão do móvel para a ERB (Up link), e a banda de 1930 a 1990 MHz para a transmissão da ERB para o móvel (Down link). Esta largura de banda de 60 MHz é organizada em 6 bandas: 3 de 15 MHz cada (bandas A, B e C) e 3 de 5 MHz cada (banda D,E e F), conforme a tabela 3.3

Banda de Operação	**Up Link**	**Down Link**
A	1850 a 1865	1930 a 1945
D	1865 a 1870	1945 a 1950
B	1870 a 1885	1950 a 1965
E	1885 a 1890	1965 a 1970
F	1890 a 1895	1970 a 1975
C	1895 a 1910	1975 a 1990

Tabela 3.3

III.4. Serviços do Sistema GSM

O sistema GSM não é apenas uma interface de rádio.O trabalho conjunto de representantes do setor industrial, órgãos reguladores e operadores do sistema de telefonia levaram à especificação completa de um padrão para a rede de telefonia móvel. O empenho dedicado nas especificações, revisões e testes deram origrm a um sistema de telefonia móvel de segunda geração bastante confiável e flexível.

Toda facilidade suportada pela rede e oferecida ao usuário do sistema GSM, é tratada como um serviço.O GSM é um sistema com múltiplos serviços que permitem formas diferentes de comunicação, dependente da natureza da informação transmitida. De forma genérica, os serviços são agrupados em serviços de voz (onde a informação transmitida é a própia voz) e serviços de dados (onde são agrupados os outros tipos de serviços, por exemplo, fax). A figura abaixo mostra uma classificação genérica dos serviços:

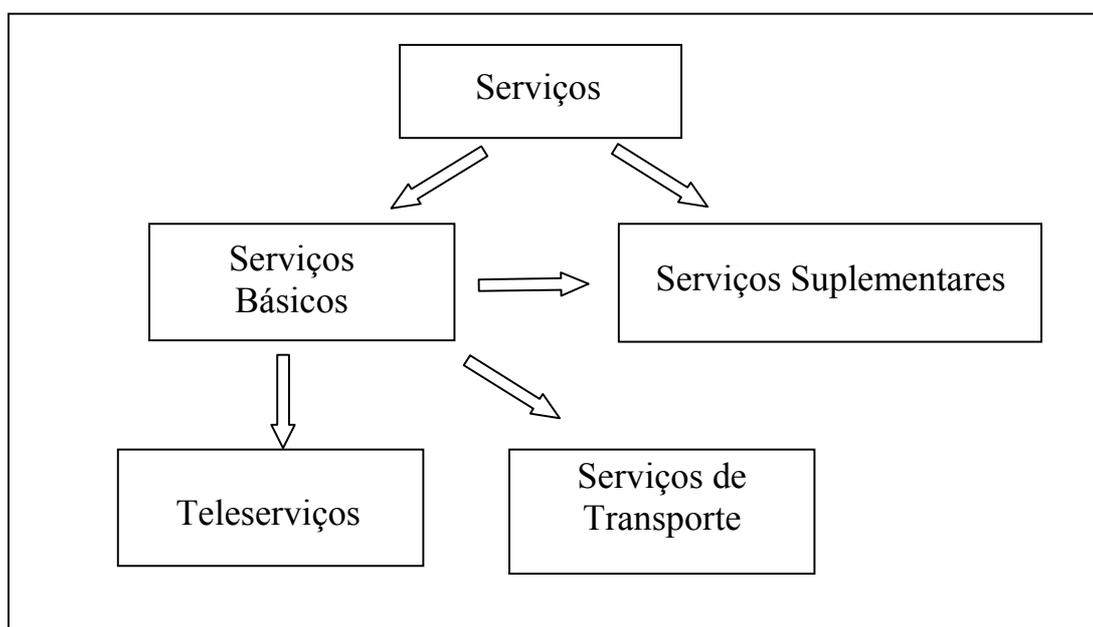



Figura 3.1– Classificação de Serviços no GSM

- **Serviços Básicos**

São as funções principais do sistema e normalmente estão disponíveis a todos os assinantes da rede, oferecidas no pacote de serviços básicos por ocasião da assinatura. Estabelecer uma chamada telefônica é um exemplo de serviço básico**.**

- **Serviços Suplementares**

São as funções presentes no sistema que normalmente, não são oferecidas no pacote de serviços básicos, mas podem ser direcionados ao perfil / classe do assinante como facilidades adicionais.Dependem da disponibilidade das funções no sistema e do terminal móvel para utilização das funções. A facilidade de chamada em espera é um tipo destes serviços.

Para a utilização de um serviço é necessário que recursos suficientes estejam disponíveis entre os pontos de acesso do sistema. Três itens devem ser observados:

- Se o assinante tem acesso ao serviço.
- Se a rede GSM envolvida tem os recursos disponíveis para o serviço.
- Se o equipamento do usuário é capaz de suportar o serviço.

Uma segunda classificação de serviços é introduzida nas especificações técnicas dos sistemas GSM (GSM 900 e GSM 1800):

- **Teleserviços**

Este grupo define toda a capacidade de comunicação possível entre os terminais de usuário e as funções da rede (incluindo as funções de centros dedicados, exe: SMS). Por exemplo, uma chamada telefônica convencional é um tipo de teleserviço, onde o serviço se estende de um terminal GSM para outro terminal GSM ou um terminal da rede telefônica fixa.

□ **Serviços de "Transporte" (Bearer Service)**

Fornece a capacitação necessária para a transmissão de sinais entre um ponto de acesso da rede GSM e um terminal de usuário.O ponto de acesso da rede GSM é a interface ar. O termo Bearer service, é usado quando se faz referência a um serviço de transmissão de dados e existem vários tipos de serviços de dados disponíveis. Ou seja, permitem a utilização de recursos da rede, através da definição das características do serviço, por exemplo: a taxa de transmissão de dados, modo de transmissão (comutados por pacotes ou comutados por circuito), síncrono ou assíncrono, etc... Diferentemente dos teleserviços, os bearer services requerem equipamentos externos, como por exemplo, um laptop (ligado a um terminal móvel) onde são executadas as camadas superiores da aplicação. Estas camadas superiores (no caso de bearer services) não fazem parte da especificação do serviço GSM. Ressalta-se também, que não são definidas as características do terminal de usuário.

III.5. Evolução do GSM

Os serviços e recursos disponíveis no GSM foram desenvolvidos ao longo da década de 90 e implementados em diferentes etapas (fases).Para atender a demanda do mercado europeu o sistema foi lançado em sua fase inicial em 1992 (fase 1). A liberação dos resultados do desenvolvimento na fase 1 permitiu que as empresas operadoras instalassem suas redes comercialmente. A fase 1 contém as especificações do GSM 900.

Com a fase 2 foram implementadas todos os serviços e recursos de rede planejados inicialmente. As especificações foram lançadas em outubro/1995 e os

aperfeiçoamentos subseqüentes foram acrescentadas na fase 2 +. Todas as especificações foram elaboradas para manter compatibilidade com os equipamentos desenvolvidos para as fases anteriores. Na fase 2 foram incorporadas as especificações do DCS 1800 (ou GSM 1800).

III.5.1. Fase 1

Os primeiros produtos e serviços de rede que permitiram lançar o GSM no mercado tiveram foco nas comunicações via voz. Nesta fase foi implementada a codificação de voz no modo *Full Rate* com o codificador padrão de 13 kbits/s. Apesar da fase 1 especificar o serviço de mensagens (SMS – Short Message Services) e capacidade de transmissão de fax e dados,estes recursos não tiveram disponíveis ou nãoeram suportados pelos equipamentos móveis quando o GSM foi inicialmente implantado.

Categoria	Serviços	Observações
Teleserviços	Telefonia (voz)	Codificação de Voz a 13kbs (full rate).
	SMS ponto – a – ponto	Troca de mensagens alfanuméricas entre assinantes através de uma central dedicada.
	SMS broadcast	Difusão de informações alfanuméricas para estações móveis dentro de uma célula, área ou grupo de usuários.
	Facsimile grupo 3	
Serviços de Transporte (Bearer Services)	Transmissão de dados no modo assíncrono	300, 1200, 1200/75, 2400, 4800, 9600 bps. *Transparente / não transparente*
	Transmissão de dados no modo síncrono	2400, 4800, 9600 bps *transparente*
Serviços Suplementares	Call forwarding (CF)	
	Call Barring (CB)	

Tabela 3.4 – Principais Características do GSM Fase 1

Nota: O termo *transparente* e *não transparente* , indica se é utilizada ou não uma segunda camada de protocolo de correção de erros na interface ar. Um serviço “transparente”significa que a infraestrutura GSM (incluindo as estações móveis) passa os

dados sem nenhum protocolo adicional para reduzir os erros introduzidos na interface ar. Nos serviços "não-transparente", no entanto,são utilizados protocolos de proteção adicionais para tomar a transmissão de dados e de fax mais segura.

III.5.2 Fase 2

Na segunda fase foi implementado o codificador de voz no modod *half-rate*.A transmissão com este processo de codificação já estava previsto na primeira fase, porém foi adiado para a fase 2 devido aso testes e desenvolvimento e a urgência do lançamento da fase 1.Na fase 2 foram incorporadas também as especificações do DCS 1800 (ou GSM –1800). Para atender o mercado americano (PCS 1900) foi introduzida a codificação de voz no modo EFR9 enhanced full rate), originalmente prevista para a fase 2 +. Neste modo de codificação , a qualidade de voz apresenta-se bem próxima da telefonia fixa tradicional sob condições de propagação favoráveis e superior ao codificador no modo full rate sob condições não ideais.

Vários recursos foram inderidos aos serviços suplementares, fortemente influenciados pelas redes ISDN. A maior parte das facilidades oferecidas ao usuário do sistema GSM foram implementadas nesta fase.

As especificações da fase 2 mantém compatibilidade com a fase 1. isto significa que os terminais da fase 1, funcionam de acordo com as especificações da fase 1, em uma rede que suporta fase2. Da mesma forma, um terminal da fase 2 pode operar e uma rede da fase 1, embora não seja aproveitada a sua potencialidade de fase 2.

Categorias	Serviços	Observações
Teleserviços	Codec de voz half-rate	Implementação opcional: a estação móvel pode ser dual-rate (half-rate – full rate)
	Codec de voz enhanced full-rate (EFR)	Implementação opcional: a estação móvel pode ser dual-rate (enhanced full-rate – full rate).Necessário para a introdução do sistema PCS 1900 no mercado americano.
Serviços Suplementares	Calling Line Identification (CLI)	Existem 2 opções : Apresentação (CLIP) que é a opção normal, onde o ID originador da chamada é mostrado no display do destino. A restrição (CLIR) é uma opção onde o chamador não quer que o seu ID seja mostrado no display do destino.
	Connected Line Identification(COL)	Facilidade oposta ao CLI.Existem 2 opções: Apresentação (COLP) onde o ID do destino da chamada é mostrado no display do originador. A restrição (COLR) é uma opção onde o destino não quer que o seu ID seja mostrado no display do originador da chamada.
	Call Waiting (CW)	Durante uma chamada em curso, informa ao assinante sobre a existência de uma segunda chamada.É oferecido em conjunto com CH.
	Call Hold (CH)	Coloca uma chamada em espera , enquanto responde/origina outra chamada.
	Multyparty Communication (MPTY)	Até cinco usuários participando de uma mesma conversa telefônica (conferência).
	Closed Uper Group (CUG)	Serviço onde o grupo de usuários compartilham o memso recurso de rádio, onde a identificação dos participantes usa poucos dígitos.Similar ao serviço do sistema trunking.
	Advice of Charge (AoC)	Informações de tarifação sobre a chamada em curso, ou sobre as chamadas previamente realizadas.

Tabela 3.5 – Principais características do GSM Fase 2

III.5.3. Fase 2 +

O GSM continuou evoluindo com grande velocidade, mesmo depois do lançamento das recomendações da Fase 2. Muitos recursos foram introduzidos no padrão GSM através da Fase 2+ e identificados pelo ano de lançamento (“Release”). Por exemplo Release`96 e Release`97.

Finalmente se pode observar que a evolução do GSM está sendo em direção ao sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems), que será apresentado nos capítulos finais do livro. Mas ainda nesta fase 2+ foram introduzidas também outras facilidades como a interoperabilidade com o sistema DECT e técnicas que permitem aumentar a taxa de transmissão de dados. Estas técnicas são:

- HSCSD – High Speed Circuit Switched Data
- GPRS – General Packet Radio Services
- EDGE – Enhanced Data rates dor GSM Evolution, que é uma técnica que permite aumentar a taxa de transmissão de dados. Ela pode ser vista como uma ponte entre o GSM e os sistemas da terceira geração (sisetma UMTS).

Estas técnicas serão vistas no capítulo final da apostila.

III.6. Facilidades para o usuário

Descrevem-se aqui algumas facilidades, ou serviços suplementares, disponíveis para o usuário do sistema GSM.

III.6.1. Roaming automático

O GSM permite o roaming automático para usuários possibilitando a utilização da estação móvel dentro de qualquer região pertencente ao país de origem ou a um país signatário do GSM MoU. Normalmente este procedimento é realizado entre operadoras de países que firmaram o GSM MoU.Durante a assinatura do serviço, o usuário tem a liberdade de optar pelo uso ou não do serviço de Roaming.

Durante a elaboração das práticas GSM, foi inicialmente proposta a facilidade de Roaming sem distinção da área onde se encontra a estação móvel. Em outras palavras, ou

a estação móvel podia fazer Roaming em todas as áreas signatárias do GSM MoU, ou a estação móvel não podia fazer Roaming em qualquer localidade.

Posteriormente foi inrtoduzido o conceito de Roaming seletivo, onde uma operadora pode conceder serviço de Roaming em áreas de sua escolha.Com esta característica, pode-se permitir ao usuário roamer, por exemplo, o acesso como Roaming à rede rurais onde o tráfego é baixo e, portanto,existe reservas de canais. Em áreas urbanas, onde esses usuários roamers representariam possível sobrecarga ao sistema, pode-se negar o serviço de roaming.

III.6.2.Call barring

O serviço de call barring permite ao usuário, sob determinadas condições, realizar o bloqueio de chamadas. Estão previstos os seguintes tipos de call barring:

- Call barring of all outgoing calls – Não é permitido ao usuário realizar qualquer tipo de chamada a partir de sua estação móvel.
- Call barring of outgoing international call – Não é permitido ao usuário realizar chamadas internacionais a partir de sua estação móvel.
- Call barring of all incoming calls – Não é permitido ao usuário receber chamadas.
- Call barring of all incoming calls when roaming – Não é permitido ao usuário receber chamadas quando estiver fora de sua Home MSC Service Area, ou seja, quando estiver como roaming no sistema.

III.6.3. Call Forwarding

O serviço de call forwarding pode ser utilizado pelo usuário quando este desejar qua as chamadas destinadas ao seu número de lista sejam redirecionadas a outro aparellho,celular ou fixo, ou para um correio de voz (Voice Mail). O call forwarding pode ser ativado para redirecionamento de chamadas sob as seguintes condições:

- Call forwarding incondicional – Todas as chamadas destinadas a estação móvel são redirecionadas a outro número previamente programado.

- Call forwarding quando ocupado – Todas as chamadas são redirecionadas quando a estação móvel se encontra ocupada com outra ligação.
- Call forwarding quando o usuário não atende – Todas as chamadas são redirecionadas à outra estação móvel após determinado tempo chamando a estação móvel, sem ocorrência de atendimento.
- Call forwarding quando fora da área de serviço ou desligado – As chamdas são redirecionadas quando a estação móvel chamada não é localizada no sistema, por estar em área não atendida ou por estar desligado.

III.6.4. Call waiting / call holding

Quando ativo, o serviço de call waiting permite a estação móvel indicar ao usuário em comunicação a existência de outra chamada a ele destinada. A respeito disso, o usuário pode atender a segunda chamada, rejeitá-la ou ignorá-la.

Por sua vez, o serviço de call holding permite que uma chamada já estabelecida e em andamento seja momentaneamenteinterrompida para que o usuário atenda a uma segunda chamada. A chamada temporariamente interrompida pode ser retomada após o término da outra chamada.

III.6.5. Short Message Services (SMS)

O serviço short message service (SMS) corresponde ao envio e recepção de mensagens alfanuméricas contendo comprimento de até 160 caracteres.Estas mensagens são exibidas no display das estações móveis.

O SMS pode ser considerado como serviço de Paging avançado, ou serviço de troca de mensagens ponto a ponto. A difernça mais marcante se situa na possibilidade de enviar mensagens a partir das própias estações móveis, sem necessidade de passar pela central de atendimento.

Caso a estação móvel não esteja ativa no sistema, ou fora da área de serviço, as mensagens permanecem armazenadas no SMSC (SMS Center) até que ela (MS) seja novamente integrada a rede GSM.Desta forma, garante-se qua todas as mensagens serão recebidas pela estação móvel .

O SMS também pode ser implantado no modo Broadcasting, ou seja, fazendo com que as mensagens transmitidas pela operadora cheguem a todos os usuários, ou a grupo de usuários específicos.Isto pode ser útil, por exemplo, para informar condições de estradas, condições meteorológicas, acidentes, bolda de valores, cotação da moeda no país, etc..

III.6.6. Calling Number Identification

Quando ativo, este serviço fornece no display da estação móvel do usuário o número de lista do usuário chamador, antes mesmo do atendimento.Caso o número do chamador esteja gravado na agenda de telefones armazenadas no SIM (Subscriber Identity Module), apresenta-se no display do terminal o nome do chamador.

Capítulo IV – Arquitetura Básica do GSM

Neste capítulo descreve-se a arquitetura do sistema GSM , de forma simplificada, abordando os seus blocos funcionais e interfaces principais.

IV.1. Introdução

A estrutura do GSM é de certa forma semelhante à de outros sistemas celulares existentes.O sistema é implementado através de uma rede de células de rádio, que juntas fornecem cobertura para a área de serviço.Para controlar esta rede de células são implementados sistemas de comutação, controle e monitoração da rede.

A arquitetura da rede GSM pode ser dividida em quatro subsistemas básicos:

- Mobile Station (MS) / Estação Móvel
- Base Station Subsystem (BSS) / Sistema de Estação Base
- Network Switching Subsystem (NSS) / Sistema de Comutação de Rede
- Network Management Subsystem (NMS) / Sistema de Gerenciamento de Rede

As principais características destes subsistemas são apresentadas nos tópicos seguintes.

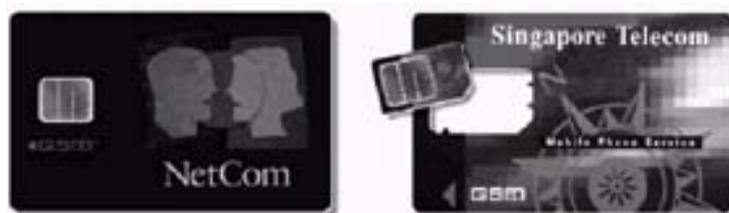
IV.2. Mobile Station (MS)

A estação móvel é o equipamento utilizado pelo usuário para acessar os serviços da rede GSM. Na verdade, em GSM a estação móvel é uma combinação de duas partes: o equipamento terminal e os dados de usuários que são armazenados em um módulo separado, tipo cartão magnético. Assim temos que:

MS = ME + SIM, onde:

MS = Mobile Station

ME = Mobile Equipment

SIM = Subscriber Identity Module

Na figura acima podemos ver dois cartões SIM em suas duas versões de tamanho.

IV.2.1. Subscriber Identity Module (SIM) / Módulo de Identidade do Assinante

O módulo SIM é um pequeno dispositivo de memória, incorporado em um cartão magnético, que armazena os dados específicos do usuário. Por exemplo, os seus dados pessoais, números de identificação , lista de redes GSM que podem ser acessadas, etc...

O SIM tem o aspecto de um cartão plastificado, parecido com um cartão de crédito, ou de um pequeno circuito integrado (chip), implementando um microprocessador, memória RAM (Random Access Memory) e memória (Read Only Memory).

Para que o usuário possa acessar o sistema , é necessário que insira o SIM em um equipamento terminal (ME).Desta forma poderá, por exemplo, originar ou receber chamadas.

O SIM pode ser retirado de um Mobile Equipment e ser conectado em qualquer outro equipamento compatível com o padrão GSM.Isto permite ao usuário o acesso à rede de maneira totalmente transparente, como se estivesse utilizando o seu própio aparelho toda vez que conectar o SIM a um diferente Mobile Equipment. Ou seja, o SIM é associado ao usuário e não ao equipamento terminal. Todos os acessos tarifáveis são tarifados com relação ao SIM.

Devido ao seu formato de cartão de crédito, o SIM no tamanho Credit – Card também é chamado de Smart Card. As versões mais recentes de equipamentos terminais usam um SIM com tamanho menor do que um cartão magnético, chamado de “plug-in”SIM.

Cada SIM é protegido contra usos imprópios através de uma facilidade de segurança (senha de 4 dígitos) chamada de PIN (Personal Identification Number)que é armazenada no mesmo.Antes de poder usar o terminal, o usuário deve digitar o PIN correto.Caso o PIN seja digitado incorretamente 3 vezes seguidas, o SIM será bloqueado, sendo que somente poderá ser desbloqueado através de uma outra senha de 8 dígitos que também será previamente armazenada no SIM. A verificação do PIN é realizada localmente no SIM e não é transmitida pelo ar.

A critério do usuário, a entrada do PIN através do teclado pode ser desabilitada, proporcionando maior facilidade de operação ao terminal.Todavia, essa decisão faz com que o usuário perca a proteção adicional oferecida pelo sistema através deste mecanismo.

Quanto à potência máxima de transmissão, as estações móveis sào classificadas em 5 grupos, como mostra a tabela 4.1:

Classe de Potência	Máxima Potência transmitida no time slot		Tolerância (dB) para condições	
	Watt	dBm	Normais	Extremas
1	20	43	{ -2 ; + 2}	{ -2,5 ; + 2,5}
2	8	39	{ -2 ; + 2}	{ -2,5 ; + 2,5}
3	5	37	{ -2 ; + 2}	{ -2,5 ; + 2,5}
4	2	33	{ -2 ; + 2}	{ -2,5 ; + 2,5}
5	0.8	29	{ -2 ; + 2}	{ -2,5 ; + 2,5}

Tabela 4.1- classes de potência

São também definidos 16 degraus de potência de transmissão do terminal móvel, informados a cada estação através do downlink. As variações de nível de potência comandado pelo sistema para o móvel são em passos de 2 dB.

Degrau de Potência	Máxima Potência transmitida no time slot	Tolerância (dB) para condições	
	dBm	Normais	Extremas
0	43	{ -2 ; + 2}	{ -2,5 ; + 2,5}
1	41	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
2	39	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
3	37	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
4	35	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
5	33	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
6	31	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
7	29	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
8	27	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
9	25	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
10	23	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
11	21	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
12	19	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
13	17	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
14	15	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}
15	13	{ -3 ; +3}	{ -4 ; +4}

Tabela 4.2 – Degraus de potência

IV.2.2. Mobile Equipment (ME) / Equipamento Terminal

Mobile Equipment corresponde ao hardware responsável pela:

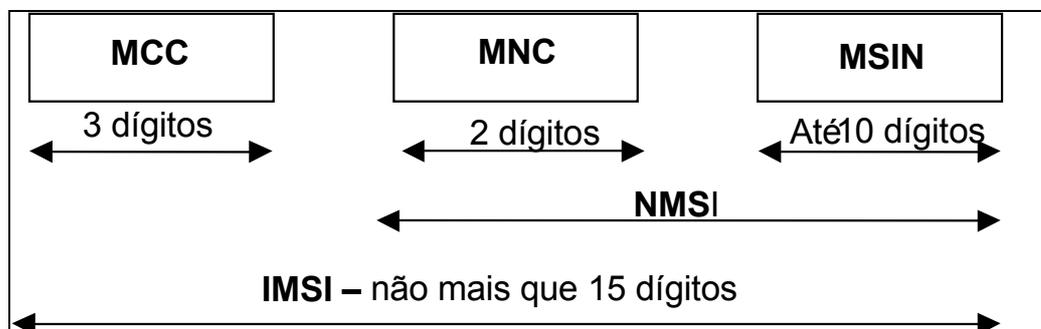
- transmissão e recepção dos sinais de rádio
- codificação e decodificação da voz
- marcação e envio de dígitos
- alerta do usuário chamado, quando uma comunicação lhe é destinada
- comunicação com o usuário.

Cada Mobile Equipment é unicamente identificado por um número denominado International Equipment Identity (IMEI). Este número é um tipo de número de série que é colocado pelo fabricante e resgistrado pelo operador na base de dados EIR (Equipment Identity Register).O IMEI não é necessariamente associado a qualquer usuário específico.

O sistema GSM emprega alguns descritores,que veremos a seguir, para identificar usuários,equipamentos, estações rádio e áreas de localização.

IV.2.2.1. International Mobile Subscriber Identity (IMSI) / Identidade Internacional de Assinante Móvel

A IMSI é uma identidade única alocada para cada assinante e que facilita a correta identificação do assinante, através da via rádio e através da rede.Toda informação de assinante relativa à rede é ligada a uma IMSI. A IMSI é armazenada no SIM, no HLR e no VLR servidor. Consiste das seguintes partes:

- identificação do país onde o usuário fora cadstrado no sistema GSM, ou país de origem: (MCC- Mobile Country Code / Código de Rede Móvel do País) . A designação do MCCs é administrada pelo ITU e fornecida no Anexo A do CCITT Bleu Book Recommendation E.212;
- identificação da rede de origem (MNC –Mobile Network Code / Código de Rede Móvel);
- número de identificação (MSIN – Mobile Subscriber Identification Number / Número de Identificação de Estação Móvel) do usuário na PLMN (Public Land Mobile Network), onde os primeiros dígitos identificam o HLR do usuário móvel.

Um móvel somente obtém serviço se um SIM com um IMSI válido é utilizado com um equipamento com um IMEI válido.

IV.2.2.2 . Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI)
Identidade Temporária de Assinante Móvel

A TMSI é um número de IMSI temporário divulgado para uma MS durante um registro.O TMSI tem importância somente local(ou seja, dentro da área MSC/ VLR) e é alterado a intervalos de tempo ou quando ocorrem determinados eventos como por exemplo a atualização da localização(mensagem de Location Updating).

Essa identificação é utilizada para dar uma proteção adicional à identificação IMSI na interface ar. As duas identificações são armazenadas no SIM. Quando o móvel é ligado (Power-on), a sua identidade real é usada (IMSI) na interação com MSC/VLR. Este por sua vez lhe devolve um TSMI qua deverá ser usada para todas as comunicações entre o móvel e o sistema. A identificação TMSI é alterada pelo sistema em toda atualização da localização do móvel.

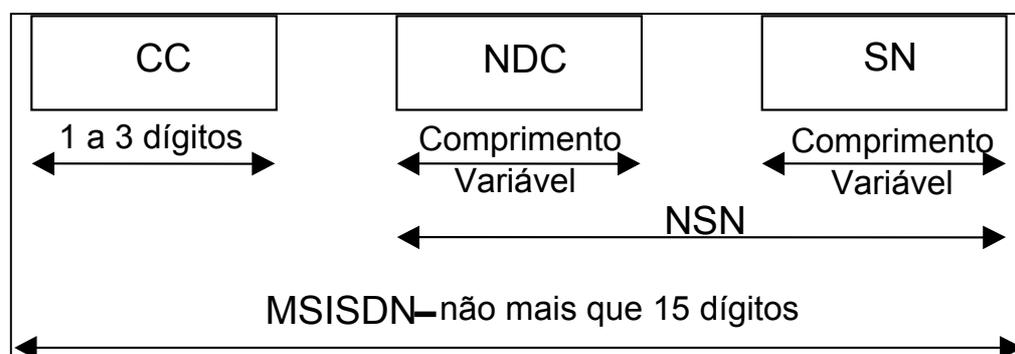
Essa identificação pode apresentar poucos dígitos(não mais do que 8 dígitos), com isso proporcionando melhor desempenho na utilização dos canais de paging. A partir desse momento o terminal móvel roamer passa a monitorar as mensagens provenientes do sistema, e direcionadas a ele, por meio do IMSI ou TMSI.

Essa identificação temporária dos usuários roamers é definida exclusivamente pela administração de cada sistema e é designada ao terminal móvel somente após a execução, com sucesso do processo de autenticação.

IV.2.2.3. Mobile Station ISDN Number (MSISDN) / Número RDSI da Estação Móvel

O número RDSI da Estação Móvel(MSISDN) identifica de forma única uma assinatura de telefone móvel no plano de numeração da PSTN. Esse é o número discado quando se chama um assinante móvel. Como o MSISDN é o número de telefone propriamente do assinante móvel, esta é a única identidade de rede que os assinantes têm de guardar. Todas as outras identidades de rede são para uso interno da rede e os assinantes não precisam se preocupar com eles.

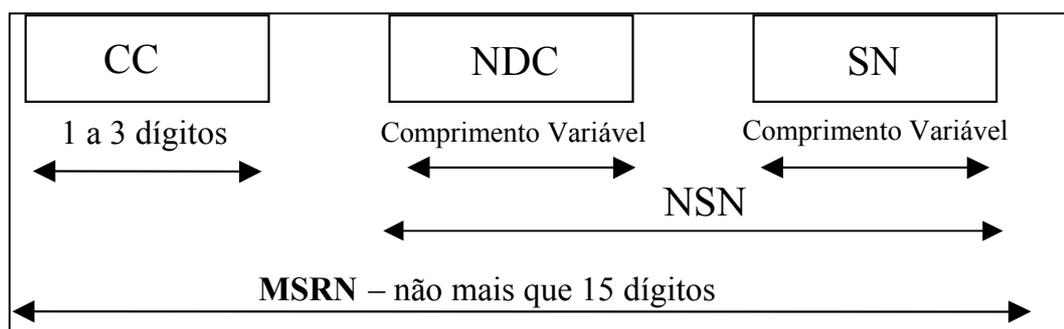
- CC (Country Code / Código de País) – identifica o país no qual o usuário móvel está habilitado.
- NDC (National Destiantion Code / Código de Destino Nacional) 1 – Para apliacações GSM, designa-se um NDC a cada PLMN GSM .Em alguns países mais de um NDC pode ser necessário para uma única PLMN GSM, por se tratar de uma rede muito extensa e complexa.
- SN (Subscriber Number / Número de Assinante) – número do usuário.

Os campos CC e NDC devem fornecer informações de rota para alcançar o HLR da estação móvel. Se maiores informações de rota forem necessárias,elas devem estar contidas nos primeiros poucos dígitos do SN.

IV.2.2.4. Mobile Station Roaming Number (MSRN) / Número de Roaming da Estação Móvel

É designado à MS no VLR (onde se encontra como visitante), em regime temporário, quando o usuário sai de sua área de numeração, ou seja, passa à condição roamer. É empregado pelo HLR origem para redirecionamento da chamada ao MSC/VLR destino, onde o móvel se encontra.

O MSRN para encaminhamento da chamada em redes PSTN e ISDN apresenta o mesmo formato do número MSISDN designado.

O MSRN é composto dos seguintes campos:

- CC (Country Code) – código do país a que o VLR pertence.
- NDC (National Destination Code) – código de destino, pertencente à rede nacional,da PLMN GSM visitada ou código da área de numeração.
- SN (Subscriber Number) – número do usuário, enquanto no sistema como roaming, contendo estrutura apropriada para o plano de numeração da área visitada.

IV.2.2.5. Intentional Mobile Equipment Identity (IMEI)

Juntamente com a IMSI (International Mobile Subscriber Identity), o IMEI é empregado para assegurar que somente os usuários autorizados tenham capacidade para acessar à rede GSM.

O IMEI identifica se um equipamento móvel tem acesso autorizado à rede (cor white), não autorizado (cor black) ou se encontra com defeito (cor gray).

Podemos ver, de maneira simplificada, onde são empregados IMSI, TMSI e MSRN no sistema GSM:

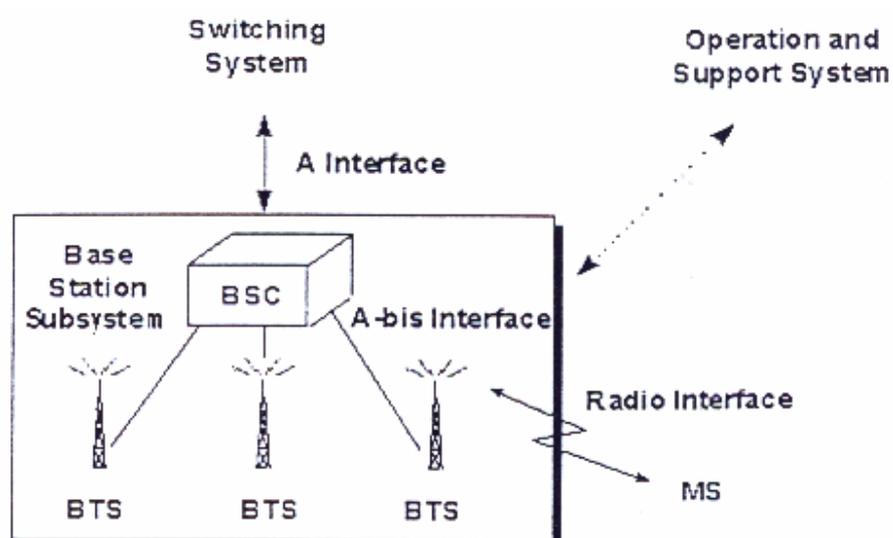
- IMSI x MSISDN → HLR. É uma relação empregada para encaminhamento de chamada ao sistema onde o móvel se encontra
- TMSR x TMSI → VLR. Relação empregada para realização de paging no terminal móvel.
- TMSR x IMSI →VLR. Relação utilizada para o VLR se comunicar com o sistema (MSC/HLR) onde móvel se encontra cadastrado.

IV.3. Base Station Subsystem (BSS) / O Sistema de Estação Base

O Sistema de Estação Base é responsável por todas as funções relacionadas com rádio no sistema, como:

- Comunicação de rádio com as unidades móveis
- Transposição de controle de chamadas em progressos entre células
- Gerenciamento de todos os recursos de rádio e dos dados de configuração de célula.

A Base Station Subsystem (BSS) é formado por dois elementos:

- Base Transceiver Station (BTS) / Estação Base Transceptora
- Base Station Controller (BSC) / Controlador de Estação Base

A interface entre as BTS's e a BSC recebe a denominação de A-bis. Uma BTS é controlada apenas por uma BSC e cada BSC se comunica somente com um MSC.

Ao contrário do que ocorre em outros padrões celulares, a forte padronização das interfaces tem como vantagem a possibilidade de emprego de equipamentos de distintos fornecedores em um mesmo sistema, ou rede GSM.

IV.3.1. Base Transceiver Station / Estação Base Transceptora

As BTS's são instaladas próximas as antenas de cobertura do sistema e são formadas basicamente por equipamentos de transmissão e recepção de rádio (transceptores). Normalmente uma BTS pode ser equipada com até 16 transceptores.

As BTS's se comunicam com as MS's através da interface ar, padronizada nas normas GSM (Radio Interface). As funções básicas da BTS são:

- codificar,criptografar e multiplexar o sinal, modular a portadora de RF, amplificar e levar o sinal resultante a antena transmissora.
- transcodificação dos sinais provenientes e destinados à BSC (adaptar a voz de 13 Kbps para uma taxa de dados de 16 Kbps e depois combiná-la com outros 3 sinais para formar feixes de 64 Kbps).
- sincronização de frequência e de tempo de transmissão dos time slots.
- comunicação de voz codificada em diferentes taxas de dados.
- recepção, equalização, demodulação, decodificação e decriptografia dos sinais recebidos, provenientes das estações móveis.
- controle de frequency hopping sobe os sinais transmitidos e recebidos, de modo que 2 estações móveis não estejam na mesma frequency hopping.
- detecção de acessos randômicos disparados através das estações móveis, por exemplo, realizando registro autônomo, originação de chamada, resposta a paging,etc...
- controle de alinhamento temporal sobre os terminais móveis.
- medidas de sinal (RSSI) sobre os uplinks.

IV.3.2. Base Station Controller / Controlador de Estação Base

As BSC's tem como função o gerenciamento das BTS's. Isto corresponde a todas as atividades de controle relacionadas à interface de rádio como por exemplo:

- designação de canais de rádio para comunicação com as MS's.
- supervisão da qualidade dos enlaces.
- transmissão de mensagens broadcasting.
- controle de potência de transmissão das MS's e das BTS's
- execução de handover entre células dispostas na mesma BSC
- reagrupamento de freqüência entre BTS's, proporcionando, por exemplo, a facilidade de empréstimo ou alocação dinâmica de freqüências.
- gerenciamento de potência de transmissão das BTS's
- sincronização de freqüência e de tempo de transmissão de sinais dos MS's às BTS's
- configuração de frequency hopping
- monitoração da performance de tráfego entre as BTS's de modo a otimizar o uso dos enlaces entre BSC e MSC e entre às BSC e BTS's .

Tipicamente, um BSC pode controlar cerca de uma centena de BTS's em uma rede GSM.Todavia, esta capacidade depende das características de cada equipamento e da área de serviço.

IV.3.3. Transcoder / Rate Adapter Unit (TRAU)

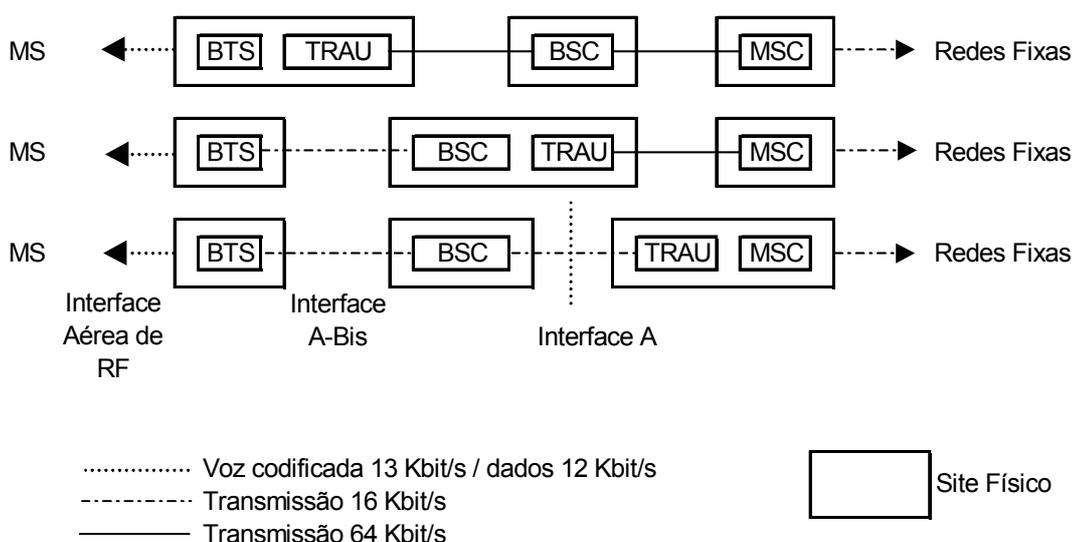
Uma parte inportante do BSS, que na arquitetura do GSM é considerada parte do módulo BTS é o Transcoder / Rate Unit (TRAU).

O TRAU é responsável pela codificação e decodificação dos sinais, como também pela adaptação da taxa de dados, no caso de dados. Embora na especificação de GSM, o TRAU faça parte do BTS,esse módulo pode ser instalado junto à BSC ou ainda, junto à MSC, dependendo das caraacterísticas de transmissão da operadora.

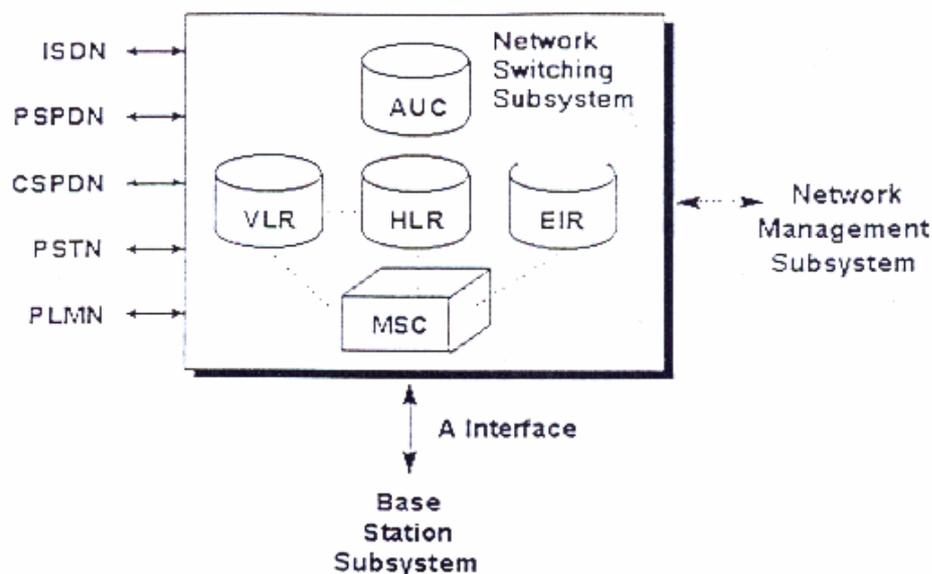
No caso da interface ar, o meio que transporta o tráfego correspondente a uma chamada, é o canal de rádio freqüência. Esse mesmo tráfego é também transportado

através da rede fixa.Para permitir uma transmissão eficiente da informação de voz digital sobre a interface de rádio, o sinal de voz digital passa por um processo de compressão.

Na transmissão através da interface ar, a estação móvel comprime o sinal de voz em 13 Kbps (Full Rate e Enhanced Full Rate) ou para 5,6 Kbps (no caso de Half-Rate). O algoritimo de compressão para o caso de Full Rate é conhecido como “Regular Pulse Excitation with Long Term Prediction” (RPE- LTP). Para o caso de Enhanced Full Rate a codificação de voz é baseada no algoritimo conhecido como “Algebraic Code Excited Linear Prediction”(ACELP). Para o caso do Half-Rate, o algoritimo usado é o “Vector Sum Excited Linear Prediction” (VSELP). No entanto, a taxa de transmissão padrão da voz na PSTN é de 64 Kbps. Por isso é necessário realizar na rede, a conversão de uma taxa de bit para outra e vice-versa. O módulo que realiza esta função é conhecido como transcodificador.

Para se obter a otimização dos recursos de transmissão, necessários entre BTS’s e BSC e também entre BSC e MSC, emprega-se normalmente circuitos transcodificadores. Tais circuitos têm a função de tomar a voz codificada em 13 Kbps, proveniente da saída do vocoder, e converter esta taxa de informação em 16 Kbps. Feito essa conversão, quatro feixes de 16 Kbps são multiplexados em um único canal PCM de 64 Kbps. A figura abaixo apresenta algumas possibilidades de uso de circuitos transcodificadores (TRAU).

IV.4. Networking Switching Subsystem (NSS) / Sistema de Comutação de Rede

O Networking Switching Subsystem é formado por cinco elementos funcionais, incluindo as bases de dados para o gerenciamento e mobilidade dos usuários:

- Mobile Switching Center (MSC) / Centro de Comutação de Serviços Móveis.
- Home Location Register (HLR) / Registrador de Localização de Origem.
- Visitor Location Register (VLR) / Registrador de Localização de Cooperação.
- Authentication Center (AuC) / Centro de Autenticação.
- Equipment Identity Register (EIR) / Registrador de Identidade de Equipamento.

Estes elementos podem ser implementados na mesma infraestrutura dentro da rede ou em localidades diferentes. A escolha da melhor implementação deve ser feita de acordo com a disponibilidade de locais para instalação e o dimensionamento feito para o sistema.

IV.4.1. Mobile Switching Center (MSC) / Centro de Comutação de Serviços Móveis

O MSC funciona de maneira análoga a uma central telefônica da rede fixa.É o nó primário em uma rede GSM.É esse nó que controla as chamadas tanto para a MS como a partir das MSs. Suas principais funções são:

- execução de pedidos de paging.
- coordenação do processamento de chamada relacionado a todos os móveis sob seu controle, presentes na área de serviço.
- alocação dinâmica de recursos como, por exemplo, enlaces entre MSC e BSC's.
- registro das localizacões dos terminais móveis.
- interoperação com outras redes fixas e celulares.
- gerenciamento de handovers.
- gerenciamento de mesas de operadora / máquinas anunciadoras para atendimento a todos usuários presentes na área de serviço.
- troca de sinalização entre diferentes interfaces.
- sincronização de dados com as diferentes BSS's.
- gateway com o equipamento de Short Message Service (SMS)
- comutação telefônica

IV.4.2. Home Location Register (HLR) / Registrador de Localização de Origem

É uma base de dados que permanentemente armazena informações importantes relacionadas a um determinado conjunto de usuários. É bastante empregada no processo de gerenciamento da mobilidade dos terminais móveis nela cadastrados. São armazenadas informações de caráter permanente sobre cada usuário, como IMSI, serviços disponíveis na rede e informações de caráter extremamente dinâmicos, como localização. Todo usuário GSM deve pertencer a um HLR, existente geralmente na MSC onde ele foi originalmente registrado.

Listam-se, em seguida, alguns dados permanentes armazenados no HLR:

- IMSI – International Mobile Subscriber Identity.
- MSISDN – Mobile Station ISDN Number, ou número de lista na rede.
- categoria do usuário, por exemplo, se ele é tarifável ou não.
- restrição a roaming.
- serviços suplementares contratados pelo usuário.
- chave empregada no procedimento de autenticação.

De maneira semelhante, para cada usuário, o HLR armazena as seguintes informações de caráter dinâmico:

- LMSI – Local Mobile Subscriber Identity.
- variáveis pseudo-aleatórias RAND / SRES e chave K_C , empregada nos procedimentos de autenticação e de criptografia.
- MSRN – Mobile Station Roamig Number.
- endereço do VLR onde se encontra a estação móvel no momento.
- endereço do MSC onde se encontra a estação móvel no momento.
- restrição a roaming.
- mensagens aguardando a finalização dos dados, empregado com SMS.

IV.4.3. Visitor Location Register (VLR) / Registrador de Localização de Cooperação.

É uma base de dados de caráter temporário, que apresenta a propriedade de armazenar dados relacionados a usuários visitantes (em roaming), ou seja, presentes em um sistema distinto daquele onde foram cadastrados. As principais funções do VLR são:

- operação conjunta com outras bases de dados, como HLR e AuC.
- envio da chave empregada no processo de criptografia , recebida do AuC, à BSC onde se encontra a MS.
- Designação de novos TMSI's ao móvel para proporcionar maior segurança quanto a sua identidade.
- tratamento de pagings.
- Manter sob controle o estado de todas MS's presentes em sua área.

Os dados armazenados no VLR são listados a seguir:

- IMSI – International Mobile Subscriber Identity.
- MSISDN – Mobile Station ISDN Number.
- MSRN – Mobile Station Roaming Number.
- TMSI – Temporary Mobile Subscriber Identity.
- Location Area – onde se encontra registrada a estação móvel, empregada para destinação de chamada ao usuário.

- parâmetros de serviços suplementares disponíveis.
- categoria da MS.
- chave de autenticação obtida do AuC (Authentication Center).
- MSCID – Mobile Switching Center Identity da área onde se encontra o móvel.

IV.4.4. Authentication Center (AuC) / Centro de Autenticação

Base de dados que armazena informações necessárias ao "mecanismo" empregado para realizar a autenticação de usuários no sistema, com o objetivo de tornar menos vulnerável o processo de troca de mensagens pela interface sistema e o usuário móvel.

A legitimação , ou autenticação, de um usuário móvel é realizada pelos procedimentos de autenticação e criptografia, que protegem a informação transmitida na interface ar contra intrusos mal intencionados (clones). Essas técnicas evitam, ou dificultam, a obtenção de dados de identificação relacionados a um usuário móvel.

O procedimento de autenticação é executado a cada acesso do móvel ao sistema: originando uma chamada, respondendo a um paging, ou executando um registro, tanto na sua área local como também nas áreas visitadas.

Cada terminal recebe durante a assinatura uma senha única, chamada de chave Ki (Authentication Key) com 32 dígitos hexadecimais de comprimento, juntamente com a identificação IMSI que são armazenadas no SIM e no AuC. Na execução da autenticação não é necessária a transmissão da chave Ki através da interface ar.

No processo de autenticação, o AuC gera um padrão aleatório de bits RAND (Random Challenge) e envia ao móvel. Este por sua vez, através do RAND recebido, da chave Ki e de outros parâmetros (todos conhecidos do sistema) obtém um novo padrão de bits, que é enviado ao AuC. Esse novo padrão é conseguido através de um algoritmo descrito na memória do SIM.

O sistema, que conhece todos os dados e o algoritmo utilizado pelo terminal móvel, executa o mesmo procedimento, mas empregando as informações presentes em suas bases de dados (AuC e HLR). O padrão de bits obtido pelo sistema é comparado com o padrão de bits recebidos da estação móvel. Obtida a igualdade, a MS é considerada

autenticada e lhe é liberado o acesso ao sistema. Por outro lado, caso não ocorra a igualdade de valores, o sistema não permite o acesso da MS à rede, permanecendo ela, dessa forma, inoperante.

IV.4.5. Processo de Autenticação

O processo de autenticação pode ser iniciado toda vez que há uma atualização da localização do móvel (por exemplo, quando o móvel chega a um novo MSC / VLR) ou toda vez que há uma nova solicitação de serviço.Assim, a freqüência de autenticação é definida pela própria operadora do serviço.

O processo de autenticação no sistema GSM define os seguintes algoritmos que são interrelacionados entre si:

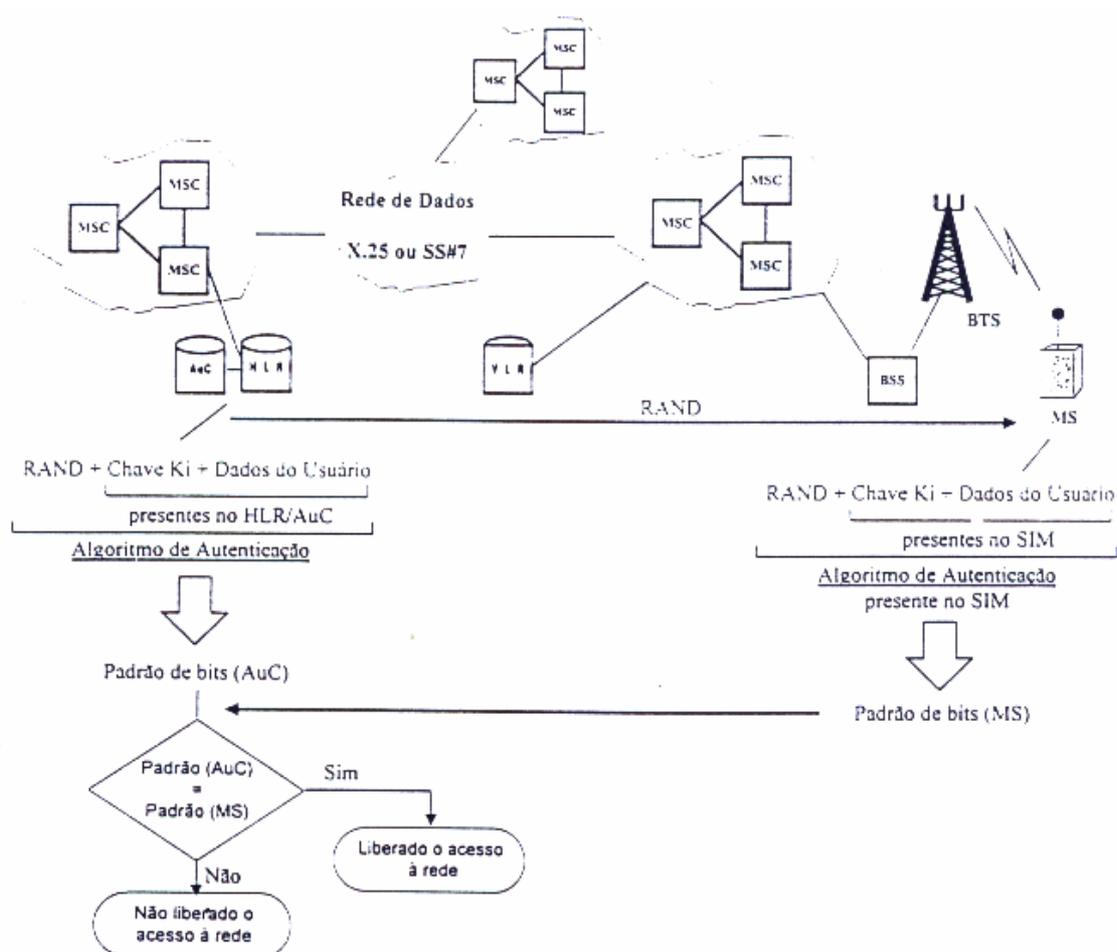
- A3: usado para autenticação de usuários.
- A5: usado para criptografia.
- A8: usado para geração de chave secreta.

Os algoritmos A3 e A8 estão gravados no SIM e no AuC, enquanto que o algoritmo A5 está gravado no ME e na BTS. Os passos para a execução do algoritmo são:

- O MSC / VLR determina que é necessário realizar a autenticação do usuário, ele envia uma mensagem de solicitação de autenticação para o AuC, via HLR.
- O AuC seleciona um número aleatório de 128 bits chamado RAND. O AuC aplica o RAND juntamente com a chave Ki e o IMSI no algoritmo A3 obtendo como resultado um valor chamado SRES (Signed Responde), 32 bits de comprimento. Aplica-se também o RAND e a chave Ki no algoritmo A8 para obter uma chave secreta de 64 bits chamada Kc (Ciphering Key).
- O AuC envia a tripla de parâmetros RAND, SRES e Kc para o HLR. Assim, a HLR armazena para cada MS esses 3 parâmetros,e quando solicitado os repassa para o MSC / VLR.
- O MSC/ VLR solicita ao móvel que execute o processo de autenticação.Para isso envia ao móvel pela interface ar o parâmetro RAND.
- O móvel executa o algoritmo A3, usando a sua chave Ki armazenad no Sim, o valor IMSI e o valor RAND recebido, obtendo como resultado um valor SRES.

Este último valor é retornado ao MSC/VLR. O móvel aplica também o RAND e a chave Ki no algoritmo A8 para obter a chave secreta de 46 Kbits Kc, teoricamenteigual a chave Kc obtida pelo AuC no passo 2.

- O MSC/ VLR compara o valor SRES recebido do móvel com aquele recebid do AuC.Se eles forem iguais, envia ao móveluma mensagem indicandoque pode receber serviço do sistema e, além disso, envia a chave Kc para BTS para que esta possa realizar o procedimento de criptografia nas mensagens enviadas / recebidas da MS. Caso contrário, envia uma mensagem de serviço rejeitado.

Verifica-se que neste processo, a chave Ki não é transmitida pela interface de rádio

Já o procedimento de criptografia dos dados transmitidos pela interface ar emprega a chave, denimonada Kc, também armazenada no AuC e no terminal móvel. A cada chamada, uma nova Kc é calculada no terminal móvel e no AuC. Todavia, essa chave não é transmitida pela interface ar, dificultando muito o trabalho de intrusos mal intencionados.

Quando o trabalho de autenticação é completado com sucesso, a BTS e o MS estão prontos para começar o processo de criptografia na informação de sinalização e voz/dados transmitidos entre elas.

IV.4.6. Equipment Identity Register (EIR) / Registrador de Identidade de Equipamento.

EIR é uma base de dados que armazena o IMEI de todos os terminais móveis habilitados. Genericamente, configura-se um EIR por por PLMN (Public Land Mobile Network)

O EIR tem capacidade de se comunicar com os diversos HLR’s da rede .Ele armazena a condição de todas as unidades móveis da rede , mantendo três listas relacionadas a três condições operacionais específicas:

- Lista White – apresenta as IMEI’s de estações móveis consideradas ”boas”, ou fora de suspeitas.
- Lista Black – aponta as IMEI’s de estações móveis roubadas.
- Lista Gray – contém as IMEI’s de móveis defeituosos.

IV. 5. Network Management Subsystem (NMS) / Sistema de Gerenciamento de Rede

O NMS é responsável pela operação e manutenção da rede GSM. Isto compreende a supervisão de cada um dos elementos da rede, garantindo a operadora, o funcionamento dos diversos equipamentos envolvidos.

Suas funções compreendem a execução de tarefas rotineiras, pré-estabelecidas pelo operador com determinada freqüência e horários de início de atividade, obtenção de dados de tarifação, apresentação de mensagens de erro e relatórios estatísticos e também auxílio no procedimento de expansão do sistema.

As normas GSM não são restritivas com relação ao OSS (Operation System Support). Isto permite grande liberdade aos fornecedores de equipamentos no sentido de tentar adequar os seus produtos às necessidades dos clientes, uma vez que operação e suporte são necessários em quaisquer redes de informações.

Basicamente a OSS monitora remotamente o estado dos equipamentos e permite à operadora a completa análise do sistema.

O sistema de suporte e operação da rede (OSS), geralmente, é dividido em duas partes:

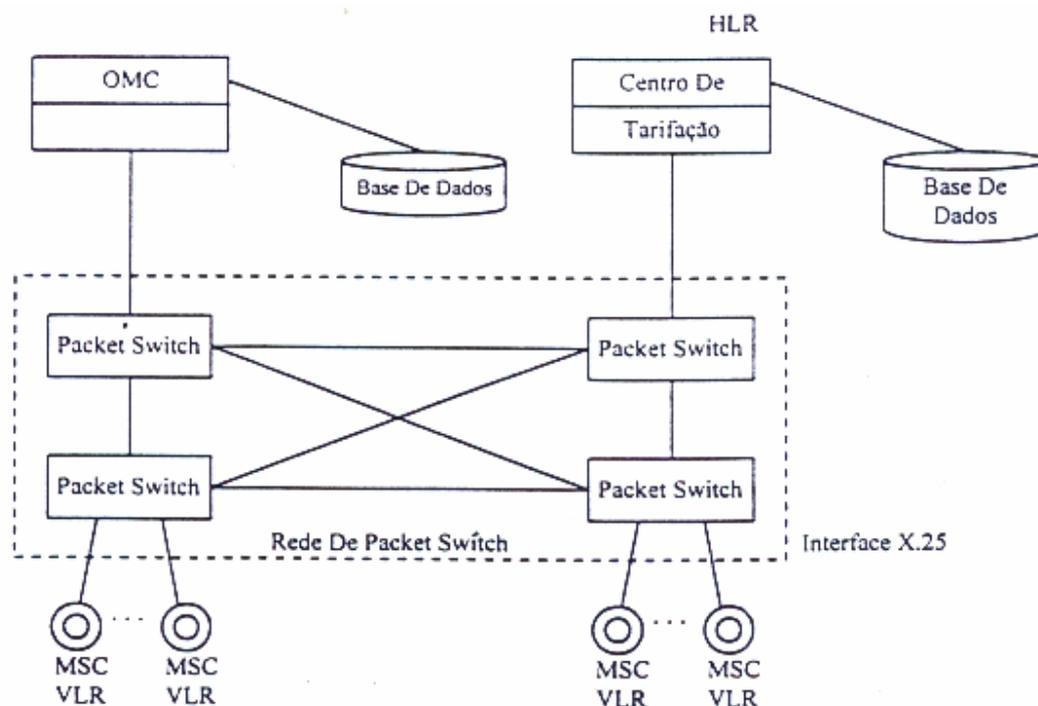
- OMC – Operation and Maintenance Center / Centro de Operação e Manutenção.
- NMC – Network Management Center / Centro de Gerenciamento de Rede.

IV.5.1. Operation and Maintenance Center (OMC) / Centro de Operação e Manutenção

O principal objetivo do OMC é oferecer às atividades é oferecer suporte às atividades de operação e manutenção da rede local e regional .

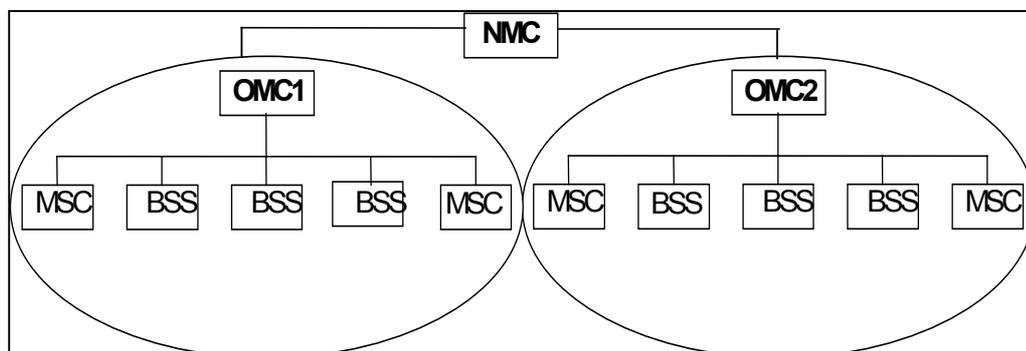
Os modernos OMC's, por confiabilidade, utilizam rede de comuniação independente da rede celular, denominada Telecommunications Management Network (TMN), para interligar os diversos componentes da PLMN. Em geral, essa nova rede é implementada através de linhas dedicadas presentes na rede fixa.

Transferências de mensagens e de arquivos podem ser realizadas por meio de protocolos implementados sobre a rede de sinalização por canal comum (sinalização nº 7) ou por protocolos X.25.

Normalmente, emprega-se a sinalização nº 7 para envio de mensagens curtas entre diversos elementos de rede e protocolos X.25 para transferência de arquivos grandes, por exemplo, contendo dados de configuração de assinantes , ou download de upgrades de softwares.

As seguintes funções básicas são atribuídas ao OMC:

- suporte a procedimentos de manutenção preventiva e corretiva.
- interface X.25
- manipulação e classificação de alarmes.
- gerenciamento de falhas.
- gerenciamento da performance dos diversos elementos da rede.
- controle da configuração das versões de software dos elementos da rede.
- estudo atualizado da rede.
- estudos estatísticos de tráfego.

IV.5.2. Network Management Center (NMC) / Centro de Gerenciamento de Rede

O NMC provê o gerenciamento global e centralizado de operação e manutenção das redes suportadas pelas OMC's locais e regionais. Provê também suporte ao gerenciamento administrativo e comercial da rede como um todo, possibilitando uma visão geral do comportamento de todo o sistema.

Da mesma forma que os OMC's, o NMC é implementado através de uma rede independente.

Geralmente empregam-se circuitos dedicados disponíveis na PSTN.

As principais funções do NMC são:

- operação e manutenção centralizada.
- gerenciamento de todo tráfego do sistema de maneira integrada.
- monitoração dos alarmes em alto nível.

suporte ao planejamento e expansão da rede

CapítuloV- A interface rádio do GSM.

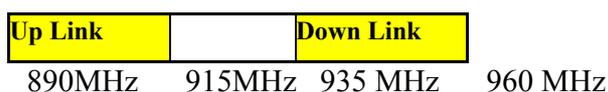
Neste capitulo apresentaremos algumas das principais características da interface entre a MS e a BTS.

V.1 Banda de operação

A banda de operação do padrão GSM, na freqüência de 900MHZ, tem a largura de faixa de 50MHz, sendo este dividido em duas bandas de 25MHz.

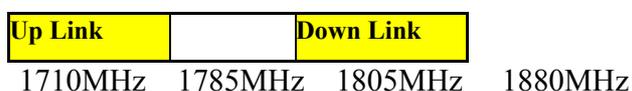
A banda de 25MHz reservada para o Up Link (comunicação entra o MS e a BTS) ocupa a faixa de 890MHz a 915MHz, enquanto que a banda de 25MHz reservada para o Down Link (comunicação entra o BTS e o MS) ocupa a faixa de 935MHz a 960MHz.

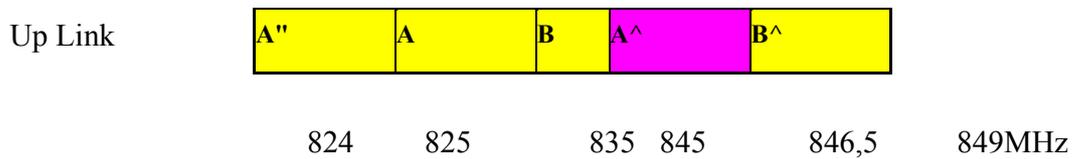
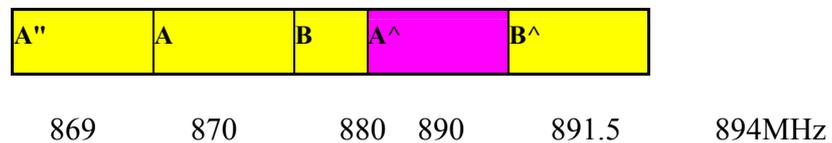
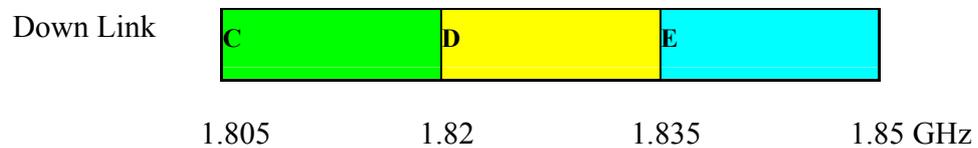
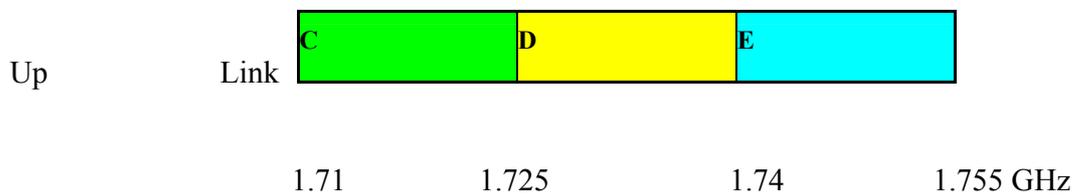
Up Link		**Down Link**

890MHz 915MHz 935 MHz 960 MHz

Não por acaso o Up Link ficou com as freqüências inferiores, pois é sabido que estas freqüências sofrem menos atenuação. Para uma operadora é muito mais fácil alterar a sua potencia de transmissão quando ocorre atenuação do que para o usuário comum.

Já na freqüência de 1800MHz, criada posteriormente, o Up link ocupa a faixa de 1710MHz a 1785MHz e o Down Link a faixa de 1805 a 1880MHz, totalizando 150MHz.

Up Link		**Down Link**

1710MHz 1785MHz 1805MHz 1880MHz

Está nova faixa de freqüência, três vezes maior que a de 900MHz, possibilita um aumento no numero de canais proporcional ao aumento da banda, isto é, 3 vezes. No Brasil temos as bandas divididas como ilustrado na figura a baixo.

Serviço Móvel Celular:

Down Link

Serviço Móvel Pessoal:

Na faixa de 1.9GHz (ou de 1.8GHz no caso do Brasil) temos uma maior perda de propagação do que na faixa de 900MHz, principalmente em perímetros uranos, alem de um maior numero de canais. Estes fatos lavaram a um tamanho menor para as células.

Observe que com um tamanho menor de célula e com um aumento do numero de canais a qualidade do sistema melhorou muito.

V.1.1. A escolha da faixa de 1.8 GHz.

Especificamente para o caso do Brasil, a escolha da faixa do PCS trouxe muito polemica. A questão era continuar seguindo os padrões americanos com a escolha do 1.9 GHz ou trazer uma mudança radical para a telefonia celular no Brasil com a escolha da faixa de 1.8 GHz adotada na Europa.

As questões levantadas foram as seguintes:

- Caso a escolha fosse a freqüência de 1.8 GHz, usaríamos a tecnologia GSM. Isso nos leva a um problema, já que no mundo todo o GSM é utilizado na faixa de 900MHz e 1.8 GHz. Os fabricantes teriam que colocar no mercado novos aparelhos que atendessem esta faixa que seriam feitos exclusivamente para o Brasil. Isso tornaria o preço destes aparelhos mais caros.

A tecnologia caminharia de seguinte forma:

GSM (2G) – GPRS (2,5G) – "EDGE (2,75G)" – W-CDMA (3G)

Caso a escolha fosse a freqüência de 1.9 GHz as operadoras teriam um maior leque de opções, tais como o próprio GSM, o TDMA e o CDMA. Para está freqüência não teríamos o problema de incompatibilidade de freqüências vista anteriormente, já que seguiríamos o padrão internacional. Entretanto, haveria uma grande correria para a implantação da tecnologia 3G. Sabendo que a terceira geração ainda está em fase de teste, o governo previu que utilizariam o Brasil como um grande laboratório. As operadoras ficariam sem dinheiro para trocar de equipamentos depois de ter implantado uma tecnologia que não funcionasse bem. Logo prestariam um serviço de segunda.

V.2 Frames

Os frames no padrão GSM são compreendidos de oito Time Slots em seqüência, onde cada Time Slot corresponde a 156,25 bits. Este numero de bits pode pareces estranho, mas os 0,25 bits são uma folga que é transmitida para aumentar a confiabilidade do sistema. Cada Time Slot (TS) tem duração de 0,577ms, o que nos da uma duração de 4,62ms para cada frame. Pelo fato de os TS transmitirem informações de forma semelhante a um canal radio do sistema analógico, eles são também conhecidos como *"canais lógicos"*.

No Down Link, a BTS envia bits exclusivos para assegurar o sincronismo e cabe a MS ajustar o seu instante de transmissão. O Frame enviado da MS para a BTS é três time slots atrasados em relação ao frame recebido pela MS que foi transmitido pela BTS. Desta forma evita-se que a MS tenha que transmitir e receber informações simultaneamente.

V.3 Alinhamento Temporal

Enquanto que na recepção dos TS para as MS é necessário apenas que cada MS saiba distinguir que informação lhe pertencem e em seguida demodula-la e decodifica-la, na recepção do TS no BTS as coisas se complicam um pouco.

Como os MS estão em distancias aleatórias da BTS, os TS necessitam de tempos distintos para chegar a BTS. Na BTS, todos os sinais têm que ser processados, podendo então haver sobreposição de TS. Para driblar este problema se faz necessário à existência de um ajuste bastante preciso entre o inicio de transmissão e o inicio da recepção na MS.

O processo de alinhamento temporal controla o tempo de transmissão do brust de slots TDMA do móvel, através de comandos para adiantar ou retardar o inicio da transmissão do TS.

V.4 Estrutura de Multiplexação dos Frames

Os frames se agrupam em diferentes escalas, o menor grupo é o multiframe, em seguida vem o superframes e por ultimo o hyperframe.

Multiframe:

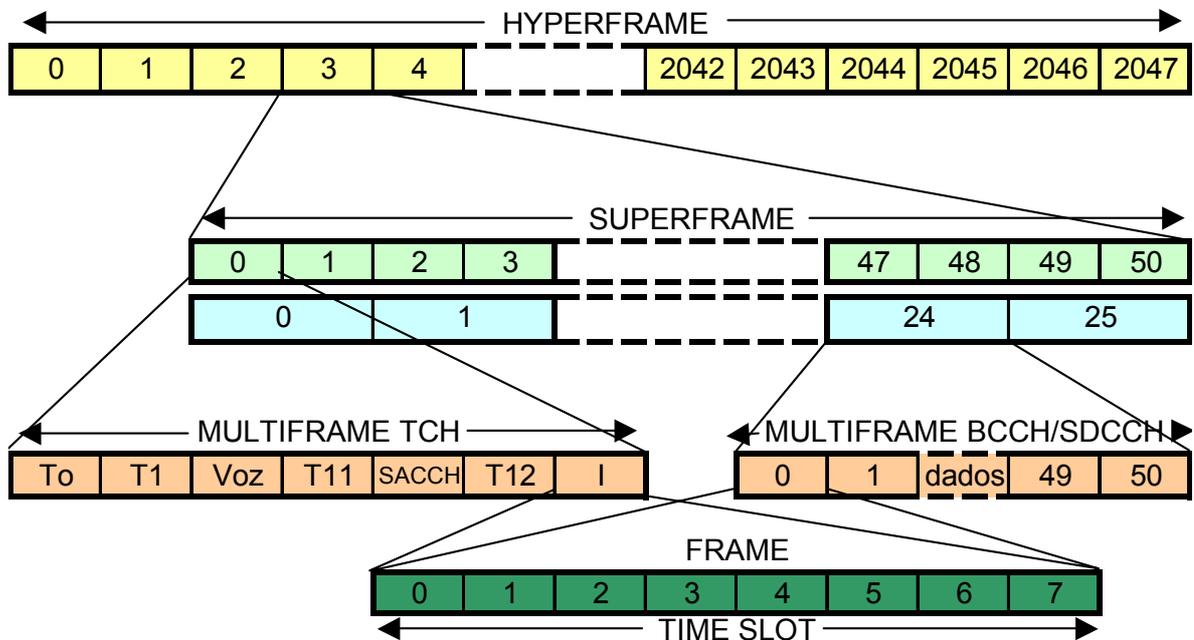
Existem dois formatos: o de 26 frames, que é composto de canais de trafego (TCH) e canais de controle, rápido (FACCH) e Lento (SACCH) tem a duração de 120mS (26 x 4,615ms), enquanto que o multiframe de 51 frames, é composto de canais de controle de broadcasting (BCCH) e canais de controle dedicados (SDCCH) e utiliza 235,4mS (51 x 4,615ms).

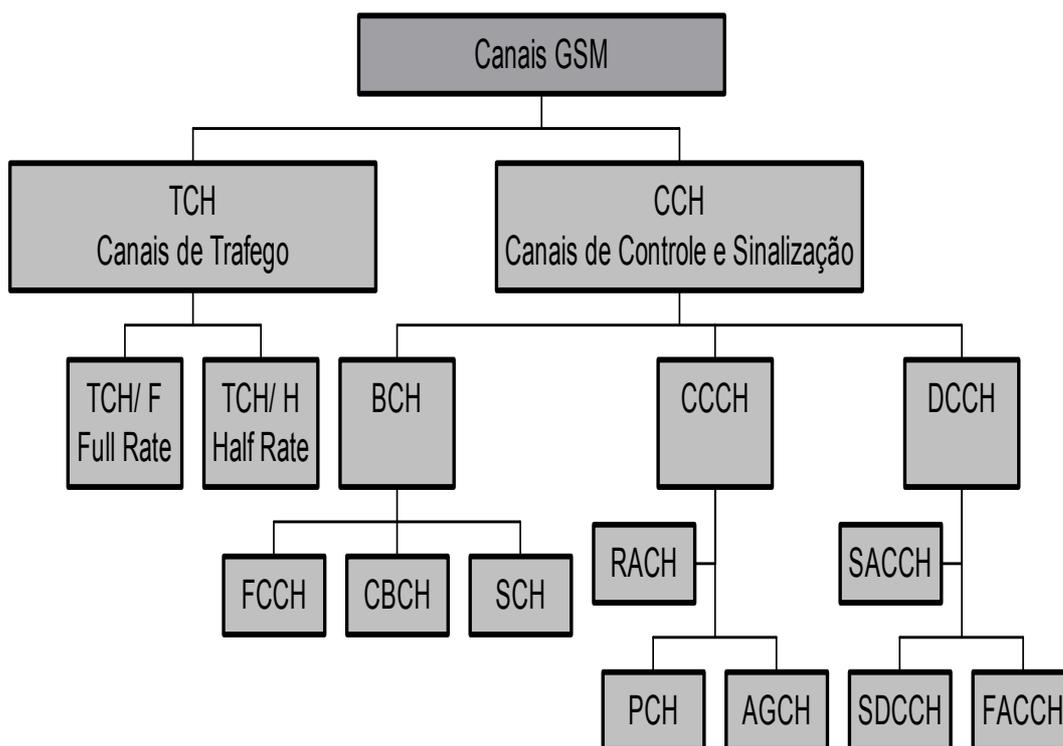
Superframe:

Assim como no multiframe, também existem dois formatos de superframe, um para trafego e outro para controle. Um fato interessante a observar é que no superframe ambos tem a mesma duração, de 6,12 segundos (51 x 26 x 4,615ms).

O superframe de canais de trafego consiste em 51 multiframes de trafego (composto de 26 frames), enquanto que o superframe de canais de controle dedicados e broadcasting são compostos de 26 multiframes de 51 frames.

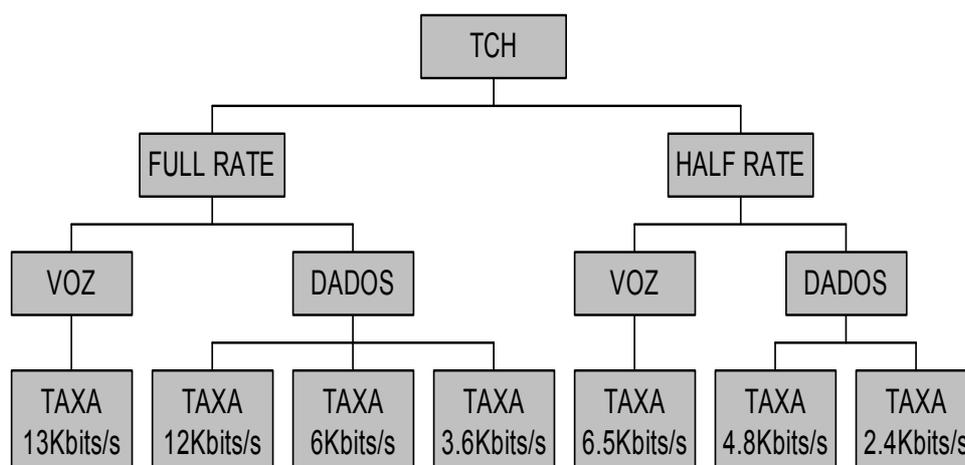
Hyperframe:

Têm a função de oferecer maior segurança e eficiência aos procedimentos de criptografia. Ele é formado por 2048 superframes, apresentando duração de 3h 28min e 52,76 segundos (2048 x 51 x 26 x 4,615ms). Este longo período corresponde a um ciclo de criptografia. A identificação dos frames dentro do hyperframe esta limitada a faixa de zero até 2715647 (2048 x 51 x 26 +1). A figura a seguir ilustra a estrutura de frames.

V.5 Canais Lógicos

Os canais lógicos são divididos em dois grupos, que são os canais de trafico ou Traffic channels (TCH) e o de controle/sinalização ou Control channel (CCH). Nos canais de trafego são transmitidas informações de trafego, compreendendo dados ou voz codificada, e é onde trafegam as informações relevantes ao usuário. Nos canais de controle e sinalização, são transmitidas informações que controlam e sinalizam os canais. A figura a seguir mostra o organograma dos canais lógicos em todas as suas etapas:

V.5.1. Canais de trafego (TCH):

Os canais de trafego, transmitidos ciclicamente no tempo, transportam informação de voz e dados nos dois sentidos de uma comunicação. Existem dois tipos de TCH, que são: Full Rate e Half Rate.

O canal Full Rate transmite informações à taxa bruta de 22,8 Kbit/s. A taxa efetiva de informação de voz é 13Kbit/s enquanto que a taxa relacionada a dados é 120000, 6000 e 3600bits/s. Atualmente as taxas são 9600, 4800, 2400bits/s. O canal de trafego Half Rate transmite informação bruta de 11400bits/s. As taxas efetivas de dados utilizadas são 4800bits/s e 2400bits/s.

O organograma a seguir tem como objetivo esclarecer visualmente as taxas praticadas no canal de trafego.

O conjunto de canais TCH/F com o SACCH (que ainda será explicado) forma a estrutura de multframe denominada TACH/F.

Existe ainda mais um tipo de canal TCH, denominado TCH/8. Ele foi criado da necessidade de não subutilizar a capacidade de trafego dos canais TCH/F e TCH/H, pois em alguns casos existe a necessidade de estabelecer uma conexão entre a MS e a BTS para simples troca de sinalização. Exemplo: re-encaminhamento de chamada, envio de mensagens curtas ou atualização da MS na área de serviço.

V.5.2. Canais de controle:

Os canais de controle (CCH), transmitidos ciclicamente, são utilizados para transportar informações de sinalização e controle. Podemos separa-lo em três grupos, BCH, CCCH, DCCH. A seguir analisaremos cada UM.

V.5.2.1. BCH- Broadcast Channel

O BCH é formado por três canais unidirecionais, transmitidos da BTS para todos os usuários de uma mesma célula. Tem a função de transmitir informações essenciais a iniciassão das unidades moveis. Os três canais unidirecionais são:

Frequency Correction Channel (FCCH): É responsável pela transmissão de rajadas de zeros, necessária a correta sincronização da freqüência na MS.

Sinchronization Channel (SCH): É responsável pelo envio de mensagens com padrão de dados previamente conhecidos, garantindo a correta sincronização de Time Slot entre BTS e MS, necessária para uma boa demodulação. O SCH tem a seguinte forma:

PLMN (3 Bits)	BS (3 Bits)	T1 (11 Bits)	T2 (5 bits)	T3 (3 Bits)
BSIC		FN		

Na figura a cima, podemos observar que o SCH é subdividido em duas partes, onde o BSCI significa BTS indentificaition code e FN significa Frame Number. Os contadores T1,T2,T3 servem para identificar o Frame dentro do Hiperframe.

Broadcast Control Channel (BCCH): É responsável em enviar parâmetros específicos do sistema para a MS, tais como Location Área Code (LAC), Móbile Network Code, roaming, potência máxima permitida na célula, entre outros.

Observe que tanto o FCCH e o SCH são canais de sincronismo. Quando o MS recupera os dois canais corretamente, fala-se então que a sincronização do móvel está completa.

Toda a vez que um Multiframe é completo, seu respectivo contador é reinicializado, voltando ao zero. Depois de 1326 frames os contadores T2 e T3 deverão ser reinicializados conjuntamente e começar do zero novamente .

V.5.2.2.CCCH- Common Control Channel

O CCCH é formado por quatro canais bidirecionais, *ponto-multiponto*, responsável pela função de gerenciamento do acesso das MSs ao sistema. Ele suporta o estabelecimento de um enlace dedicado entre o MS e a BTS. Os quatro canais são:

Paging Channel (PCH): Transmitido pela BTS, o MS de tempos em tempos “escuta” o PCH referente ou seu MS e verifica se existe alguma chamada ou uma short menssage (SM).

Radon Access Channel (RACH): Transmitido pela MS para requisitar um canal. Pode ocorrer quando a MS verifica que existe alguma chamada ou uma SM.

Access Grant Channel (AGCH): Transmitido pela BTS, para a designação de um especifico SDCCH a MS, isto é, informa a MS em qual canal ela vai encontrar o SDCCH. Junto com está informação é enviada a informação relativa ao alinhamento temporal que o móvel deve usar.

V.5.2.3. DCCH – Dedicated Control Channel

Assim como o CCCH, o canal DCCH também é bidirecional, mas difere por ser ponto a ponto e não ponto multiponto. Ele é subdividido em dois canais, que são:

Stand Alone Control Channel (SDCCH): canal de controle usado no envio de mensagens entre uma BTS e um MS especifico e utilizado para gerenciar a mobilidade e a conecção.

Associetad Control Channel (ACCH): Formado por dois canais de controle associados à designação de TCH e, portanto, montados sobre o próprio canal de trafego.

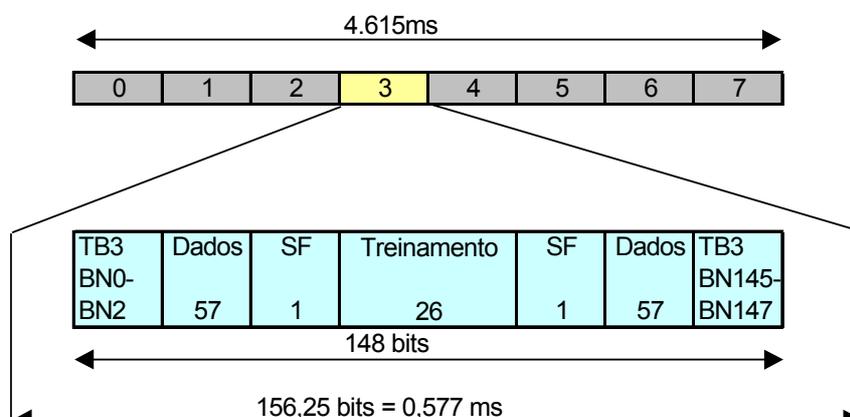
São eles:

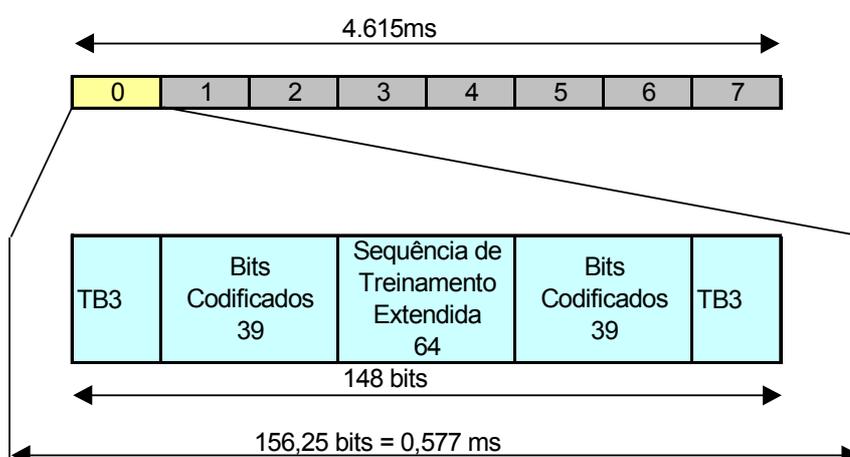
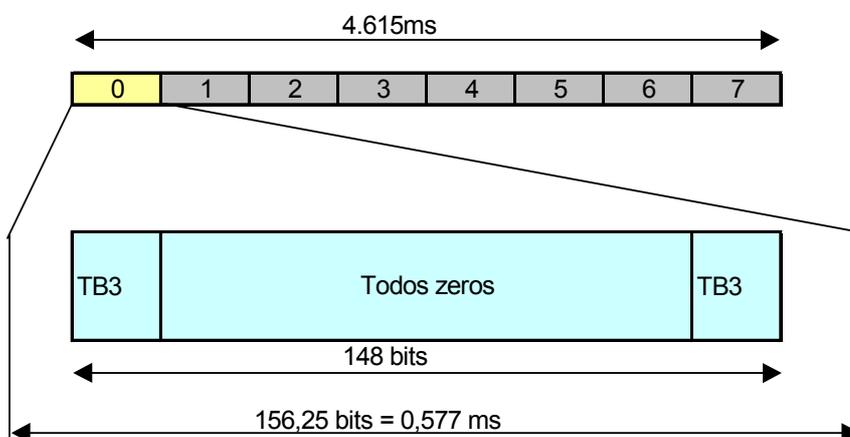
Slow Associated Control Channel (SACCH): Transportam mensagens de sinalização e controle não prioritárias, podendo estar associada com o SDCCH ou com o TCH.

Fast Associated Control Channel (FACCH): Tem a função de transportar mensagens urgentes ou prioritárias no tempo, durante a conversação, tanto no down link quanto no up link. Um bom exemplo são as mensagens de handover. Mensagens prioritárias utilizam o mesmo TS usado pelo TCH. Logo a mensagem de voz é interrompida, e para que o usuário não perceba o codificador de voz repete o ultimo TS de TCH recebido.

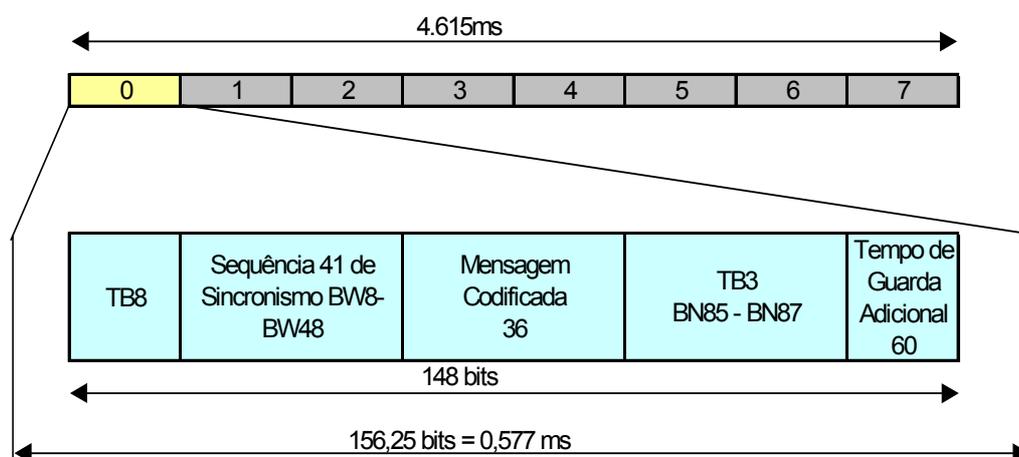
V.6 Formato do Time Slot:

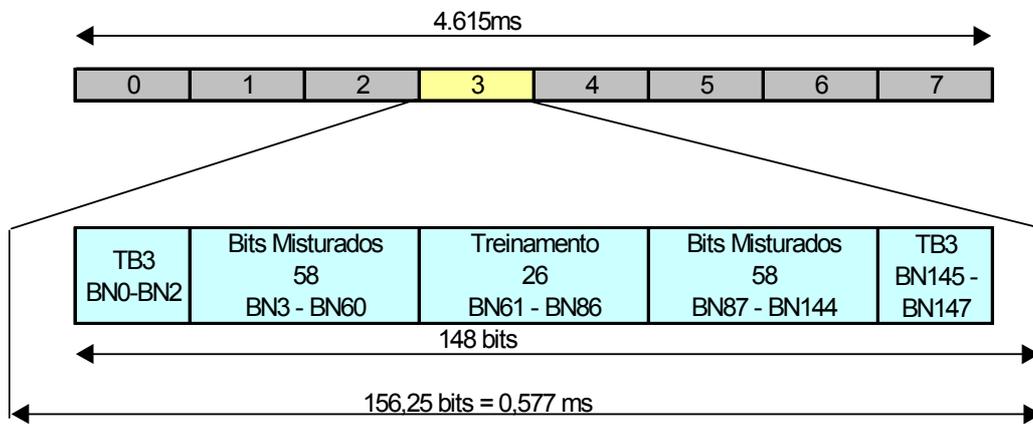
Existem vários tipos de Time Slots, seu formato depende do tipo de informação a serem transmitida. No canal de controle, o TS tem os seguintes formatos: Burst Normal, Burst Dummy, Burst de sinalização e Burst de Correção de Freqüência. Já no canal CCCH, o TS tem os seguintes formatos: Burst Normal e Burst de Acesso. No canal DCCH, o TS é o Burst Normal. Características do Burst:

Burst Normal:

O Burst Normal (ou Normal Burst, NB) é usado para transportar informações nos canais TCH e nos canais de controle, exceto o RACH, o SCH, o FCCH. O bit SF (Stealing Flag) indica se o burst trafega informação do canal FACCH. A seqüência de treinamento é um padrão conhecido tanto pelo móvel, quanto pela BTS, e é usada pelos rádios para sincronizar os seus receptores com o burst.

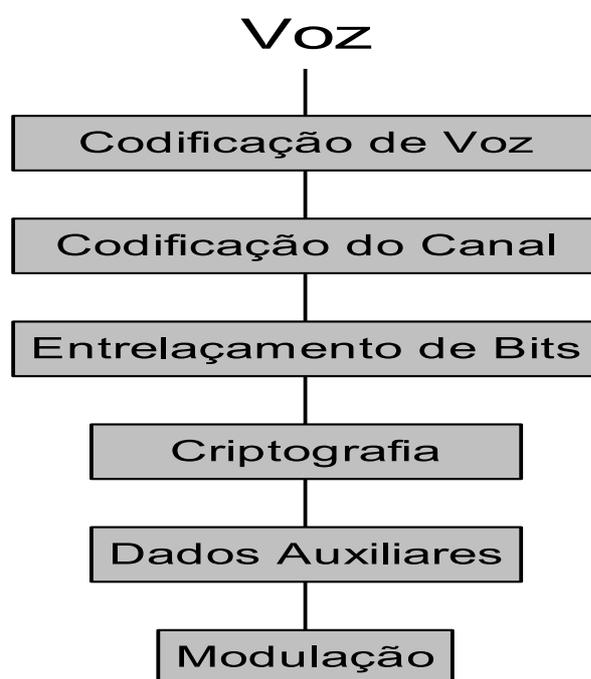
Burst de Sincronismo:

O Burst de Sincronismo (ou Synchronizaition burst, SB) é utilizado para transmitir o SCH, que como vimos tem a função de garantir à correta sincronização de Time Slot entre BTS e MS.

Burst de correção de freqüência:

O Burst de correção de freqüência (ou Frequency Correction Burst, FB) é usado para transmitir o FCCH, que visa dar sincronismo de freqüência do móvel.

Burst de acesso:

O Burst de acesso (ou Access Burst, AB) é usado para acesso via handoff e para acesso randômico. Possui um grande período de guarda, pois este burst tem o objetivo de dar maior proteção à informação no enlace reverso, principalmente quando é o primeiro acesso onde não se conhece ainda o alinhamento temporal.

Burst Dummy:

Utilizado pela BTS am algumas situações particulares. Possui formato semelhante ao do burst normal.

Capítulo VI-Processamento de canal

Na transmissão e recepção de um canal digital, cuja principal função é fazer o processamento da informação e a sua modulação, se faz necessário todo um tratamento da informação. Este tratamento tem em sua primeira etapa a codificação de voz, seguida pela codificação do canal e o entrelaçamento de bits. Após esta etapa vem a criptografia, a inserção de dados auxiliares para formatação dos dados e multiplexação e por fim a modulação. A figura seguir ilustra estas etapas.

Na recepção a voz faz o caminho inverso, sendo primeiro demodulada, em seguida é retirado os dados auxiliares e posteriormente é desfeita a criptografia. Os bis voltam a sua posição inicial, sendo o canal decodificado e posteriormente também a voz.

VI.1. Codificação de Voz

A voz humana é audível em uma faixa de freqüência que varia de 300Hz até cerca de 4KHz. Para selecionar apenas esta faixa passa-se um filtro passa baixa, onde alem de se eliminar a alta freqüência se elimina o ruído proveniente do ambiente. Após está filtragem a voz é amostrada a uma taxa de 8000 amostras por segundo, valor este suficiente para se regenerar o sinal na recepção. Cada amostra utiliza 13 bits, correspondendo a 8192 níveis possíveis. Esse feixe passa por um speech encoder, onde em sua saída a informação é compactada em frames de 20ms.

Para se codificar a voz utiliza-se a tecnologia onde as informações mais significativas, isto é, as que mudam rapidamente no tempo, recebem um tratamento especial. Essa tecnologia recebe o nome de Regular Pulse Excited-Long Term Prediction ou RPE-LTM. A mensagem que varia lentamente recebe o nome de long term e a que varia rapidamente recebe o nome de short term. O objetivo desse algoritmo é utilizar a maior parte dos bits para a representação dos short term. Por exemplo: o som "Hummm" muda lentamente e transforma informação não importante, enquanto que o som "s" varia repetidamente e tem um importante significado na compreensão de frases e palavras.

De forma geral, pode-se dizer que os short terms englobam as vogais enquanto que os long terms englobam as consoantes. Desta forma os bits de saída são divididos em duas classes: Short term→ Classe I e Long term → Classe II.

Os short terms são divididos ainda em duas partes, Ia e Ib. Os bits da classe Ia recebem bits de paridade e de detecção e correção de erro (CRC). Posteriormente, os bits Ia são recombinados com os bits de Ib. Eles são então processados pelo codificador convolucional.

VI.2.Codificação de Canal

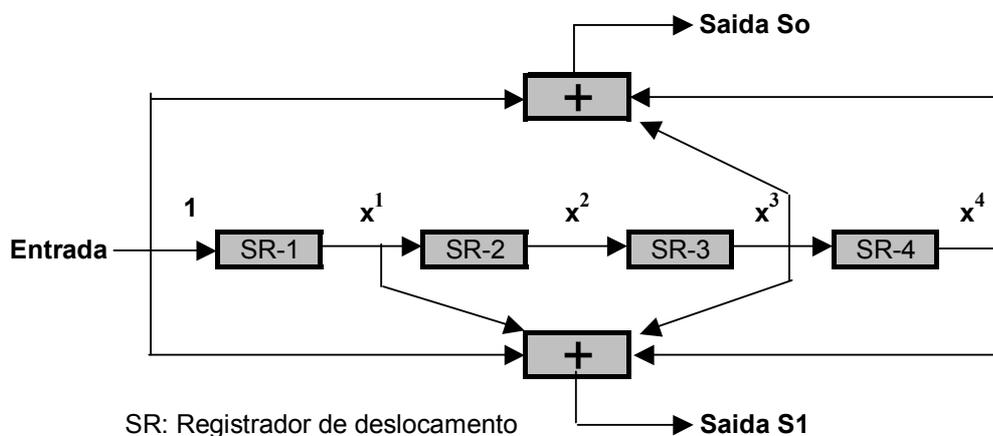
A codificação de canal se faz necessária devido ao desvanecimento rápido que a interface radio esta sujeita. Ele tem como função minimizar este efeito, utilizando técnicas de *introdução de bits de paridade* e *codificação convolucional*.

Para se gerar bits de paridade é utilizado um circuito gerador de paridade, que funciona da seguinte forma: no inicio de cada frame de voz, todos os registradores de deslocamento são iniciados com o valor 1. O circuito é carregado com um burst de 50 bits de classe Ia. neste ponto as saídas dos registradores apresentam a paridade calculada. A seguis são enviados mais três pulsos de clock, de modo a enviar a saída os três bits de paridade obtidos.

No codificador convolucional, são aplicados 50 bits de classe Ia, 3 bits de parideda, 132 bits da classe Ib e 4 tail bits (ou 4 bits "zero"). Na saída do decodificador é obtido dois símbolos, So e S1.

Introdui-se neste momento uma nova variável, denominada restrição de comprimento (K). Ela corresponde à quantidade de bits levados em consideração na determinação dos símbolos So e S1.

Cada par de símbolos obtidos na saída So e S1, baseam-se na informação de K bits de dados consecutivos, existentes na entrada do primeiro e nas k-1 saídas dos registradores de deslocamentos. Cada bit de dados participa da determinação de 2k símbolos consecutivos, obtidos na saída. Logo caso ocorra à degradação do símbolo So ou S1, apenas $(2k)^{-1}$ da informação relacionada a um bit de dados será perdida. Desta forma a informação original encontrasse em redundância na saída do codificador, facilitando assim a detecção e correção dos erros na recepção. Este codificador falha quando ocorre um burst 2k ou mais símbolos seqüencialmente errados.

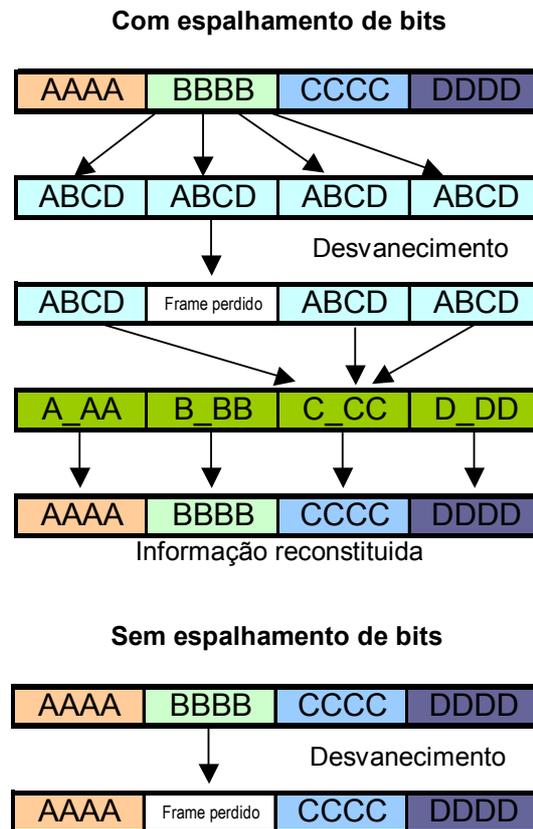
As saídas So e S1 são definidas pelo polinômio $Go(x)= x^4+x^3+1$ e $G1(x)=x^4+x^3+x+1$, como podemos observar na figura a seguir.

Os tais bits são adicionados ao final de cada frame, apos os 182 bits classe I e os 3 bits de paridade. Eles tem a função de reiniciar os registradores de deslocamento do codificador convolucional. A cada frame de 20ms, na saída do decodificador de taxa ½, obtem-se 378 bits que são agrupados aos 78 bits de classe II que não sofreram qualquer processamento, saídos do vocoder. Temos então um total de 456 bits de informação por frame de 20ms, o que nos da uma taxa de 22,8Kbps.

VI.3.Espalhamento de Bits (Interleaving)

O espalhamento de bits é uma forma que o padrão GSM tem de tentar diminuir o BER no receptor. Já foi provado, através de estudos estatísticos que quando ocorre erro na transmissão, este afeta com maior probabilidade bits seguidos e não bits espaçados.

Com o espalhamento de bits, caso parte da informação seja perdida, esta perda ocorrera sobre uma seqüência de bits obtidos em instantes diferentes, logo após o re-arranjo dos bits para a forma original os bits perdidos se encontram espaçados, facilitando assim a detecção e correção dos erros. A detecção e a correção só é possível devido à codificação e a redundância de informação nos bits.

No padrão GSM, uma mensagem do canal de controle ou de trafego ocupa 57 linhas de 8 blocos, resultando em 456 bits codificados. Estes blocos são espalhados e embaralhados com os blocos de amostras consecutivas. Logo o time slot passa a ter

dados de dois blocos de amostras retirados do sinal original em instantes diferentes. A figura a seguir procura explicitar, de forma geral, a vantagem de utilizar espalhamento de bits.

VI.4.Criptografia

A criptografia consiste no ato de multiplicar o sinal já "embaralhado", por um código que é conhecido apenas pela estação móvel e pela BTS. O código, que segue o algoritimo A3 e A5 do GSM(vistos com maiores detalhes no capítulo IV), é alterado sempre ao inicio de uma chamada, aumentando assim a segurança do processo.

VI.5. Dados auxiliares

Os dados auxiliares servem para auxiliar a sincronização e equalização do sinal recebido. Estes dados são acrescentados após o sinal ter sido criptografado, sendo de fundamental importância para que na BTS não ocorra sobreposição de time slots. Para tal a BTS controla o tempo de transmissão de cada MS, definindo o instante em que cada um deve começar a transmitir os seus dados.

Como a BTS controla o tempo de transmissão em função da localização do MS na célula, é necessário compensar atrasos devido a reflexões. O procedimento de timing advance permite compensar este atraso em células de até 35KM de raio.

VI.6. Modulação

A modulação é a ultima etapa que compõe o canal de trafego do GSM. Nela o sinal obtido modula uma portadora de radio freqüência em GMSK (Gaussian Minimun Shift Keying). Como é necessário poder detectar e corrigir erros introduzidos no trajeto de propagação, a forma de modulação é de certa forma complexa.

A entrada do modulador possui uma taxa bruta de dados na de 270,833Kbps, o que corresponde a 16 canais Half Rate ou 8 Full Rate

VI.7. Técnicas de Múltiplo Acesso

O compartilhamento de uma específica ERB pelos diversos portáteis e móveis localizados na célula correspondente, determina o uso de técnicas de múltiplo acesso adequadas, que possibilitarão o compartilhamento simultâneo por parte dos usuários da faixa limitada do espectro destinada para o serviço.

As principais técnicas são as seguintes:

- FDMA – Múltiplo Acesso por Divisão em Freqüência.
- TDMA – Múltiplo Acesso por Divisão em Tempo.
- CDMA – Múltiplo Acesso por Divisão em Código.

VI.7.1. FDMA - Múltiplo Acesso por Divisão em Freqüência

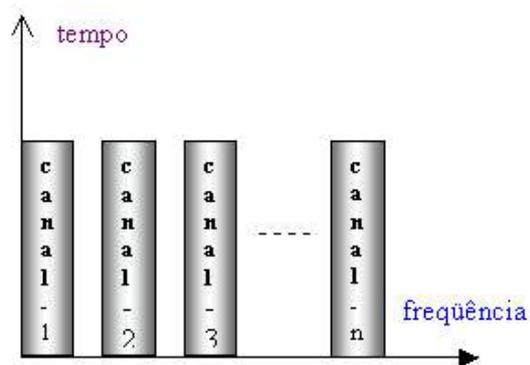
A técnica FDMA utiliza o princípio da alocação de faixas de freqüências para os canais direto e reverso. Ou seja, cada usuário conectado utiliza um canal duplex de faixas de freqüência exclusivas. As freqüências de transmissão e recepção estão separadas de 45 Mhz.

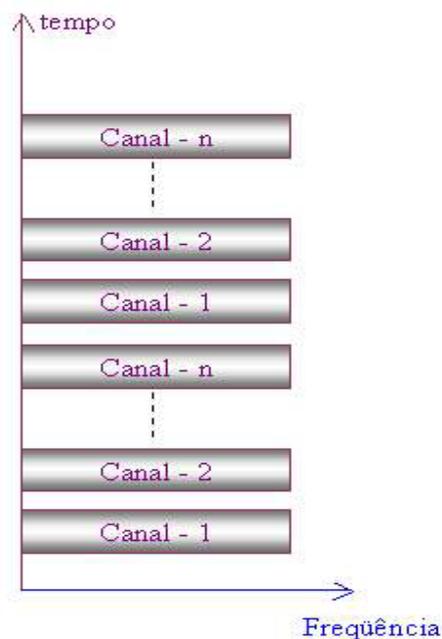
Trata-se da técnica mais antiga e menos complexa, e é caracterizado como um sistema faixa estreita.

Uma das maiores preocupações quando se utiliza este tipo de acesso é a interferência co-canal de células pertencentes a grupos vizinhos.

A quantidade de canais alocados em cada célula deve ser função do tráfego correspondente.

Algumas características deste sistema:

- Implementação baseada em SCPC (Single Channel per Carrier)
- Transmissão contínua: uma vez alocado, o canal é usado continuamente pela base e pelo o usuário até o fim da comunicação.
- Faixa estreita: um usuário por canal requer banda estreita (30KHz) em sistemas analógicos, já em sistemas digitais o uso de codificação de voz a baixa taxa pode diminuir ainda mais a banda necessária.
- Baixa interferência entre símbolos (ISI) em sistemas digitais, o que simplifica os equipamentos controladores.
- Baixo over-head, uma vez que a quantidade de informação de controle trocada é pequena devido à simplicidade do sistema.

VI.7.2. TDMA – Múltiplo Acesso por Divisão em Tempo

O TDMA também conhecido como D-AMPS, é utilizado em sistemas digitais onde uma mesma portadora (canal RF) é compartilhada por vários usuários, através da alocação de janelas de tempo exclusivas (slots). Ou seja, vários usuários conectados utilizam um mesmo canal de RF em intervalos de tempo distintos. No TDMA faixa larga, toda ou grande parte da banda disponível é alocada a cada usuário por determinado intervalo de tempo. Em cada slot de tempo apenas um usuário terá acesso a toda (ou grande parte) da banda. Já no TDMA faixa estreita o usuário tem acesso a uma pequena porção da banda por determinado intervalo de tempo.

As janelas de usuários no TDMA devem ser sincronizadas para evitar sobreposição de janelas e com repetição seqüencial.

A quantidade de canais de informação por portadora é igual ao número de janelas de tempo existentes num quadro TDMA.

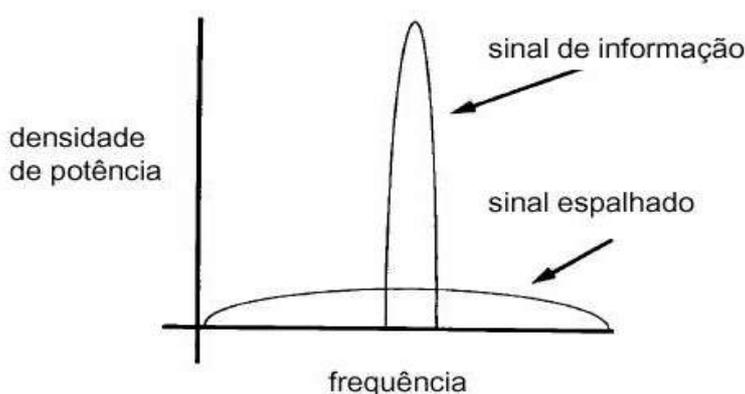
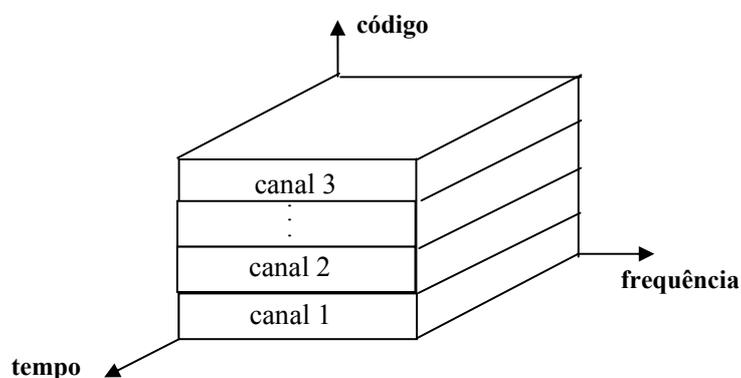
Uma das vantagens dos sistemas TDMA é que o processo de handoff é mais simples e existe a possibilidade de otimização da capacidade do sistema através da alocação adaptativa do número de janelas às flutuações de tráfego. O TDMA permite a implementação de tanto sistemas faixa estreita quanto faixa larga.

Algumas características deste sistema:

- Capacidade maior se comparado com o AMPS. No sistema Americano IS-54, utiliza-se 3 slots por portadora já no sistema europeu GSM usa-se 8 slots em cada portadora.
- Faixa Estreita (IS-54)– canais de 30 kHz a uma taxa de 48,6 kbit/s.
- Faixa Larga (GSM) - canais de 200 kHz a uma taxa de 271 kbit/s.
- Melhor qualidade do sinal, devido ao fato de trabalhar com tecnologia digital.
- Maior privacidade para os usuários.
- Proporciona a utilização de estações móveis dual-mode (funcionam tanto com canais analógicos quanto digitais).
- Alta ISI, associada com as altas taxas de símbolo usadas por sistemas TDMA.
- Alto over-head, já que a transmissão do sinal de cada canal é feita em intervalos limitados, a sincronização é complexa.

VI.7.3. CDMA – Múltiplo Acesso por Divisão em Código

É a técnica de múltiplo acesso que utiliza o processo de modulação com o espectro expandido (“spread spectrum”), que consiste no espalhamento do sinal original por uma banda muito maior do que a necessária para sua transmissão, através da multiplicação do sinal por um código com taxa de transmissão muito superior, de forma

que o sinal resultante ocupe uma faixa maior. A energia total é mantida, sendo distribuída uniformemente por toda a banda, assemelhando-se ao espectro do ruído branco.

Caracteriza-se pelo compartilhamento de um canal duplex (mesma faixa) por vários usuários simultaneamente através de codificação exclusiva da informação transmitida por cada um.

A seleção do sinal desejado é feita pela decodificação no respectivo receptor, comprimindo o espectro expandido na transmissão. Os demais sinais não decodificados constituem parcelas de ruído branco aditivo cujo total influi na qualidade da informação recebida, já que os códigos associados aos usuários são ortogonais.

É definido como um sistema faixa larga, onde o espectro total ou grande parte dele está disponível para todos os usuários.

Algumas características deste sistema:

- Compatível com o AMPS, opera em modo dual.
- Alta capacidade obtida em testes de campo.
- Boa rejeição a interferência.
- Privacidade para os usuários.
- Comunicação entre usuários utilizando as mesmas freqüências ao mesmo tempo, por divisão de código.
- Near-far problem- caso não haja controle de potência eficiente.
- Necessidade de um controle rígido de potência, ortogonalidade entre os códigos e sincronismo perfeito (utilização do GPS – Sistema de Posicionamento Global).

CapítuloVII. Processamento de chamadas

Neste capítulo descrevem -se as principais etapas do processamento de chamadas no sistema GSM. Antes, pórem, faz-se uma breve descrição do procedimento de sintonia do móvel no canal base do sistema GSM(que corresponde ao canal de controle do sistema AMPS, por exemplo).

VII.1. Sintonia da Estação Móvel no sistema

Quando um móvel é ligado("Power-on") ele faz uma varredura em todos os canais RF da banda alocada no sistema GSM , procurando pela presença da rede, isto é, para detectar o canal base. A sintonia do móvel com o sistema é realizada em três passos(este procedimento é totalmente passivo, ou seja, não troca mensagens com o sistema):

- Sincronismo em freqüência
- Sincronismo temporal
- Obtenção dos parâmetros do sistema (através do canal lógico BCCH)

O sincronismo em freqüência consiste em encontrar a freqüência onde estão sendo transmitidos os canais lógicos FCCH, SCH e BCCH.

O sistema GSM sempre está enviando alguma informação nos times slots do canal base, mesmo que estes canais não estejam alocados para uma comunicação com outros móveis. No caso de time slots livres , o sistema envia o burst do tipo "dummy", especificamente definidos para este propósito. Ao fazer a varredura de canais, o móvel se sintoniza, a princípio, naquele com maior nível de potência. Uma vez sintonizado, o móvel procura pelo canal FCCH. Se não for encontrado , o móvel se sintoniza no canal qua tem o segundo maior nível de potência. Este procedimento é repetido, até encontrar o canal lógico FCCH.

Após sincronizar-se em freqüência, o móvel realiza o sincronismo temporal. Para isso o móvel analisa o canal lógico SCH que ele sabe estar em freqüência, no próximo frame TDMA, em um tempo correspondente após o canal FCCH. No canal SCH, o móvel encontra a informação do número do frame atual, como também, seqüência de treinamento.

Depois de sincronizado temporalmente, o móvel sabe em que posição encontrar o canal lógico BCCH e em conseqüência, obter os parâmetros do sistema

VII.2. Registro da Estação Móvel

Obviamente, o assinante móvel não permanece nun único local, mas movimenta-se por várias áreas. Não importa a freqüência ou quão rápido ele se movimenta, o sistema deve sempre saber onde encontrá-lo no caso de alguma chamada ser destinada a ele. O procedimento que permite o sistema manter constante atualização da localização do assinante éo Location Update.

Quando a rede móvel é detectada, a estação móvel obtem as informações do sistema no canal base. Com estas informações a estação móvel pode determinar a sua localização dentro da rede. Se sua localização atual não for a mesma de quando ela foi desligada pela última vez, o procedimento de registro é iniciado. A figura ilustra o procedimento de registro.

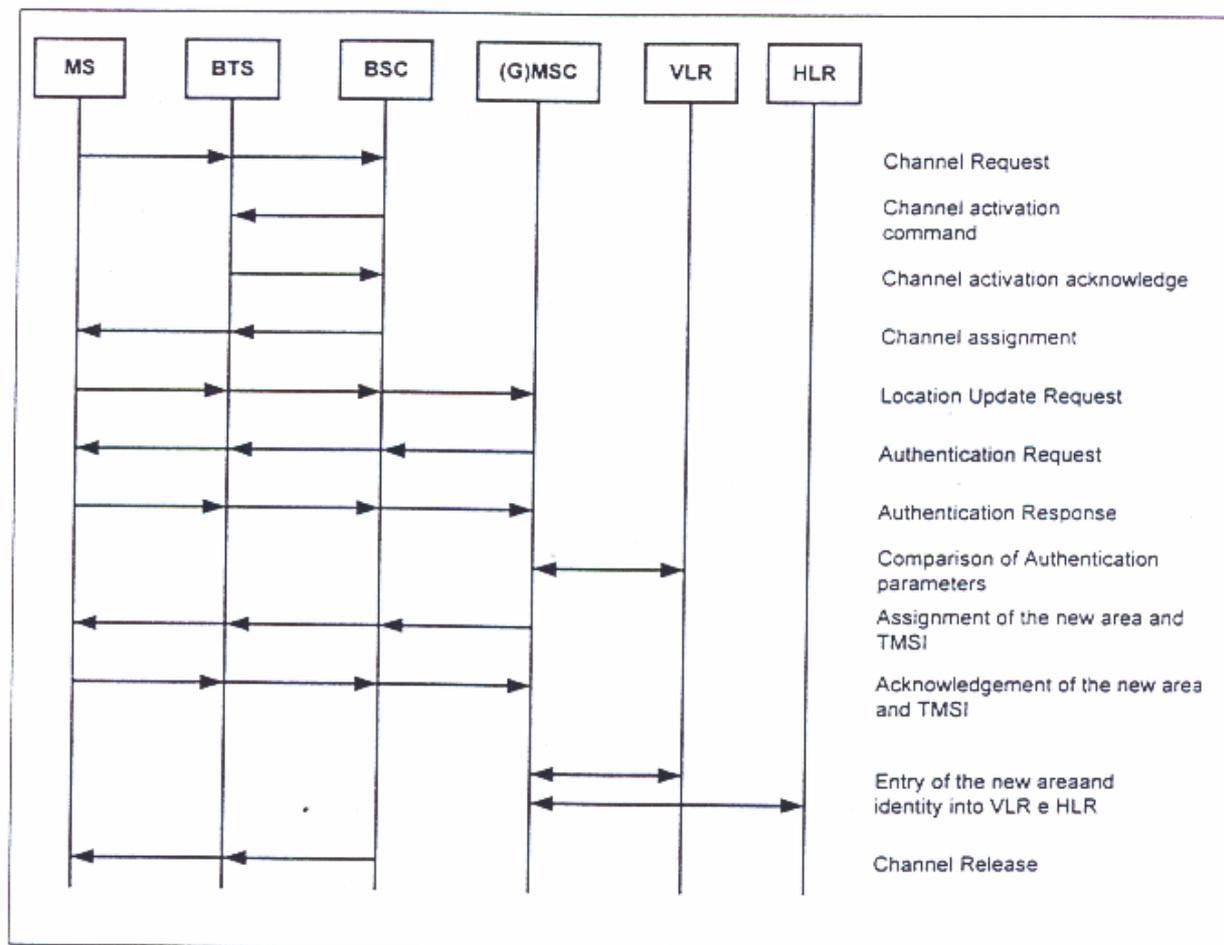



Figura 5.1 – Procedimento de Registro no Sistema

Procedimento de Registro no sistema

O procedimento de registro tem início com a requisição de um canal do sistema pela estação móvel, que é designado pela estação base. Antes de designar um canal para a inetrface UM, a BSC deve ativar a BTS, que por sua vez deve retornar a mensagem de sucesso na operação para a BSC. Neste instante, a estação móvel estará concetada à infra-estrutura e informa ao sistema que deseja realizar a atualização da sua localização(Location Update). Este pedido é transmitido para a (G)MSC, que coordenará o procedimento de autenticação da estação móvel antes que qualquer outra ação seja tomada.

Depois de recebidos os parâmetros corretos, a (G)MSC autoriza a estação móvel na sua nova localização e determina uma identidade temporária(TMSI), que também deve

ser reconhecida pela estação móvel. Quando este procedimento é finalizado, o canal é liberado
da BSC via BTS.

O procedimento de registro é um meio de limitar o fluxo de mensagem dentro da rede e dar um controle virtual ao sistema. O sistema sempre saberá o conteúdo da da HLR. Todas as informações contidas na HLR também serão de conhecimento da (G)MSC(por exemplo, se uma estação móvel encontra-se desligada ou não).Se alguém tenta chamar uma estação móvel desligada, a (G)MSC pode enviar imediatamente uma mensagem ao autor da chamada indicando que aquele usuário não está disponível no momento. Isto evita que o sistema tente, desnecessariamente, transferir a chamada para a área onde o móvel foi registrado pela última vez.

Quando um móvel é desligado, ele armazena algumas informações no módulo SIM, tais como , a freqüência do canal base e a sua localização atual dentro do sistema. Se o móvel for novamente ligado na mesma célula, estas informações podem reduzir o tempo de sincronização do móvel com o sistema.

VII.3. Chamada originada por uma estação móvel, destinada a outra estação móvel

As chamadas estabelecidas entre estações móveis têm o seguinte procedimento:

1) A MS envia mensagem de SETUP_REQ para a MSC requisitando o estabelecimento da chamada, incluindo os dígitos marcados de identificação do destino;

2) Após receber esta mensagem, a MSC requisita ao VLR informações sobre o usuário, necessárias para a permissão do completamento da chamada;

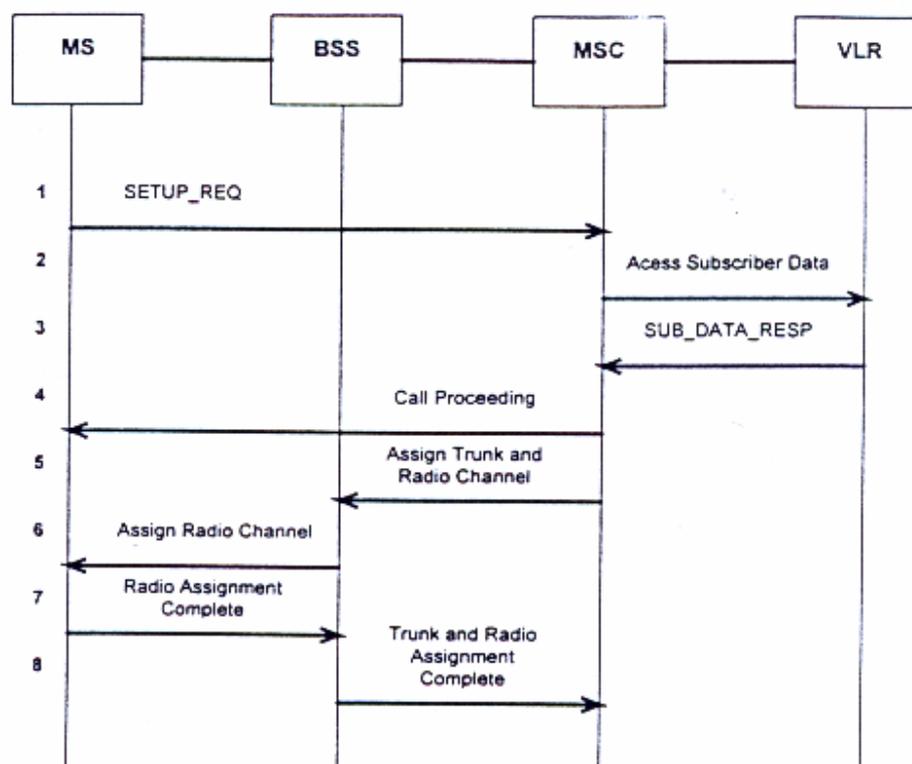
3) O VLR verifica se o usuário está autorizado a completar a chamada e retorna à MSC a mensagem SUB_DATA_RESP autorizando, ou não, o prosseguimento da chamada. Neste exemplo assume-se que o usuário obteve permissão;

4) A MSC envia a MS uma mensagem confirmando a autorização da chamada;

5) A MSC designa um meio de transmissão disponível para a comunicação com a BSC que está fornecendo serviço para a MS;

6) A BSC designa um canal de tráfego para a MS e envia informação de controle pelo SDCCH

7) A MS sintoniza o canal de rádio correspondente ao canal de tráfego designado e envia resposta de confirmação à BSC;

8) A BSC conecta o canal de tráfego ao meio de transmissão previamente designado para a comunicação com a MSC e libera o SDCCH e envia mensagem à MSC informando o estabelecimento da comunicação com a MS.

Fi Troca de mensagens para chamada originada pela MS e destinada a outro MS

VII.4. Chamada originada da MS e destinada a usuário da PSTN

Para ligações originadas de MS que têm como destino um telefone da PSTN, uma vez estabelecida a comunicação entre MS e MSC, dá-se início ao setup de chamada com a rede fxa.Os pontos chave do processamento são decritos a seguir:

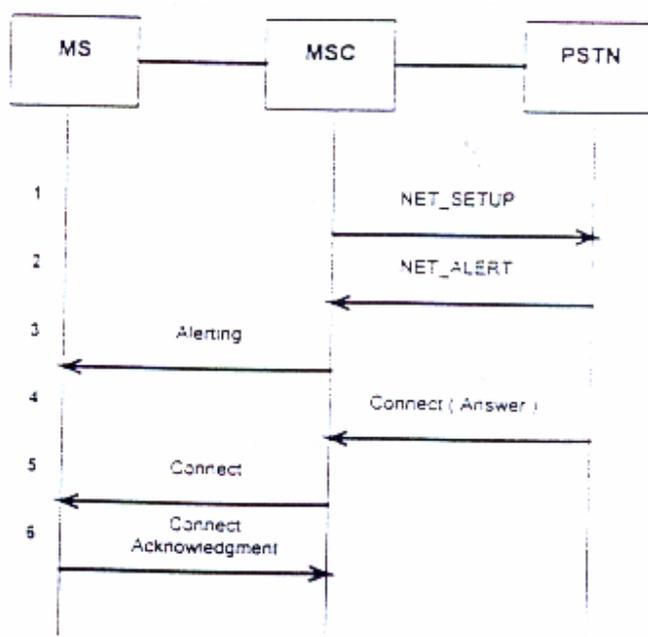
1) A MSC envia à PSTN mensagem de NET_SETUP requisitando a iniciação da chamada.Esta mensagem contém os dígitos marcados e detalhes sobre o meio de transmissão("tronco utilizado no processo de setup com a MS");

2) A PSTN encaminha a chamada e notifica à MSC , empregando a mensagem NET_ALERT;

3) A MSC envia à MS mensagem alertando de que a PSTN já encaminhou a chamada. A MS recebe tom de controle de chamada enviado pela central;

4) A PSTN informa a MSC quando a chamada é atendida pelo destino;

5) A MSC informa a MS de que foi estabelecida conexão com a PSTN;

6) A MS envia mensagem de confirmação à MSC.

Troca de mensagens para chamada originada pelo MS destinada à PSTN

VII.5. Chamada originada na PSTN e destinada a uma MS

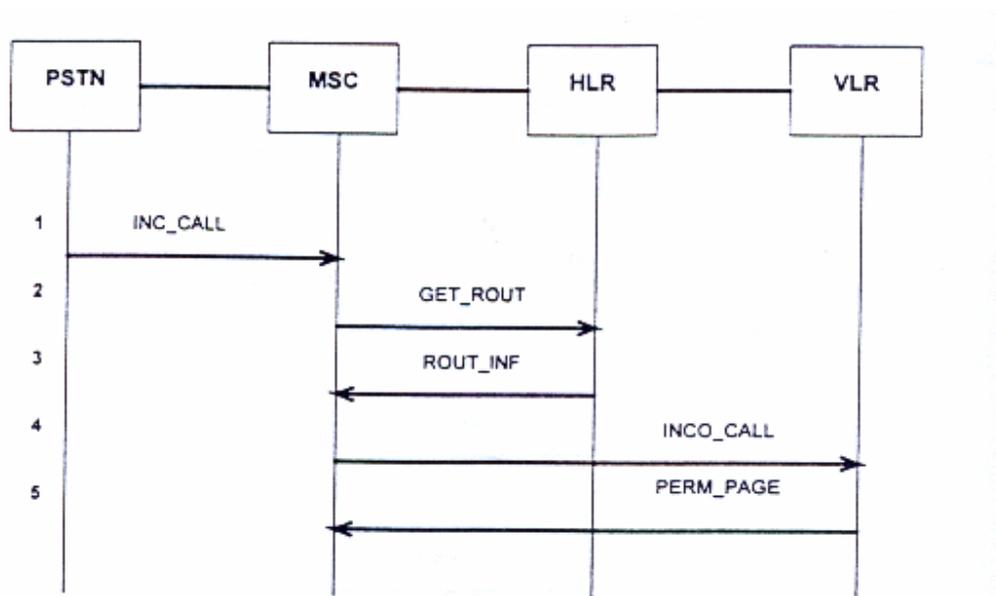
Para chamada originada de uma linha fixa e tendo como destino um MS, situado no seu sistema home, o procedimento de estabelecimento da chamada segue os seguintes passos:

1) A PSTN encaminha a chamada para a MSC;

2) A MSC envia mensagem GET_ ROUT ao HLR com o objetivo de obter informação do MSISDN;

3) O HLR retorna mensagem ROUT_INF à MSC, contendo o MSRN(Mobile Station Roaming Number). Se a MS está em roaming dentro da área de serviço desta MSC, o MSRN retornado pelo HLR é idêntico ao MSISDN.(OBS: Neste exemplo assume-se que a MS não está em roaming);

4) A MSC informa o VLR sobre a chamada com a mensagem INC_CALL, incluindo o MSRN;

5) O VLR responde à MSC empregando mensagem PERM_PAGE, que especifica a Location Area Identification (LAI) e o TMSI(Temporary Mobile Subscriber Identity) da MS. Se a MS não tem permissão para receber as chamadas, o VLR informa a MSC sobre isto.

Troca de Mensagens para chamada originada na PSTN e destinada à MS

VII.6. Chamada originada na PSTN- execução de pagings nas BTSs

O processo de localização da MS, conhecido como Paging, segue o procedimento:

1) A MSC utiliza a LAI para identificar quais BSCs devem executar o processo de localização da MS. A MSC envia mensagem de PERM_PAGE para cada BSC, iniciando o procedimento de Paging;

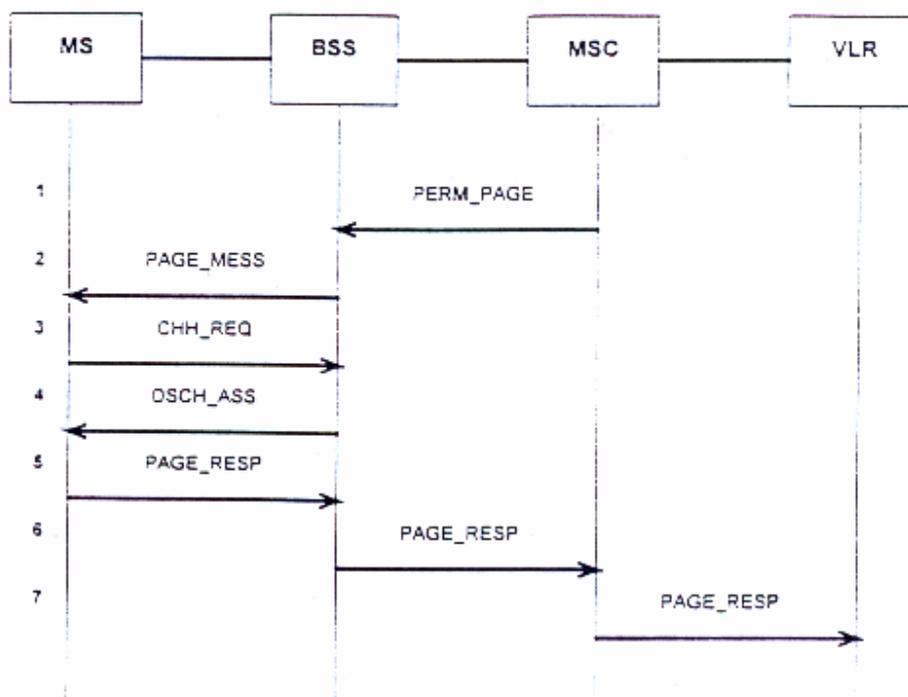
2) Cada BSC envia o TMSI da MS na mensagem de Paging(PAGE_MESS) empregando o PCH(Paging Channel);

3) Quando a MS procurada recebe o TMSI, transmitido no PCH, ela responde à BSC com uma mensagem de CHH_REQ no canal reverso RACH(Random Access Channel);

4) Recebendo a mensagem de CHH_REQ da MS, a BSC designa um SDCCH(Stand Alone Dedicated Control Channel), enviando mensagem DSCH_ASS à MS no AGCH(Access Grant Channel). Uma vez designado o SDCCH, é através dele que a MS passa a se comunicar com a BSC até que lhe seja designado um TCH(Traffic Channel);

5) A MS envia mensagem PAGE_RESP à BSC contendo o respectivo TMSI e LAI;

6) A BSC envia a mensagem recebida, PAGE_RESP, à MSC;

7) A MSC informa o VLR que a MS respondeu à mensagem de Paging

Troca de mensagens no processo de busca de uma determinada MS

VII.7. Handover entre BTSs pertencentes à mesma MSC

O procedimento de Handover entre células pertencentes à mesma MSC Service Area, contém os seguintes passos:

1) A MS determina a necessidade de Handover e envia mensagem STRN_MEAS à BCS servidora. Esta mensagem contém as medidas de nível de sinal executadas pela MS;

2) A BSC servidora envia mensagem HAND_REQ à MSC solicitando Handover.Esta mensagem contém uma lista com as possíveis células que podem servir a MS;

3) A MSC recebe a solicitação de Handover e verifica se a célula melhor candidata pertence a uma de suas BSCs. Neste exemplo supõe-se que o Handover ocorre entre as células da mesma MSC Service Area. Para completar o Handover, resta a designação de um meio de transmissão("tronco") entre a MSC e aBSC alvo e um canal de tráfego para a comunicação entre BTS e MS. Conseguidos estes recursos, a MSC envia resposta de HAND_REQ à BSC alvo com todas as informações necessárias para a comutação à nova célula, além do novo código para a criptografia a ser utilizado;

4) A BSC alvo recebe a mensagem e responde com um HAND_REQ_ACK.Esta resposta contém a identificação do novo canal de rádio;

5) A MSC envia mensagem HAND_COMM à BSC servidora, contendo informações sobre o canal de rádio a ser utilizado na nova célula;

6) A BSC envia mensagem HAND_COMM à MS;

7) A MS sintoniza o novo canal de rádio e envia mensagem HAND_ACC à BSC;

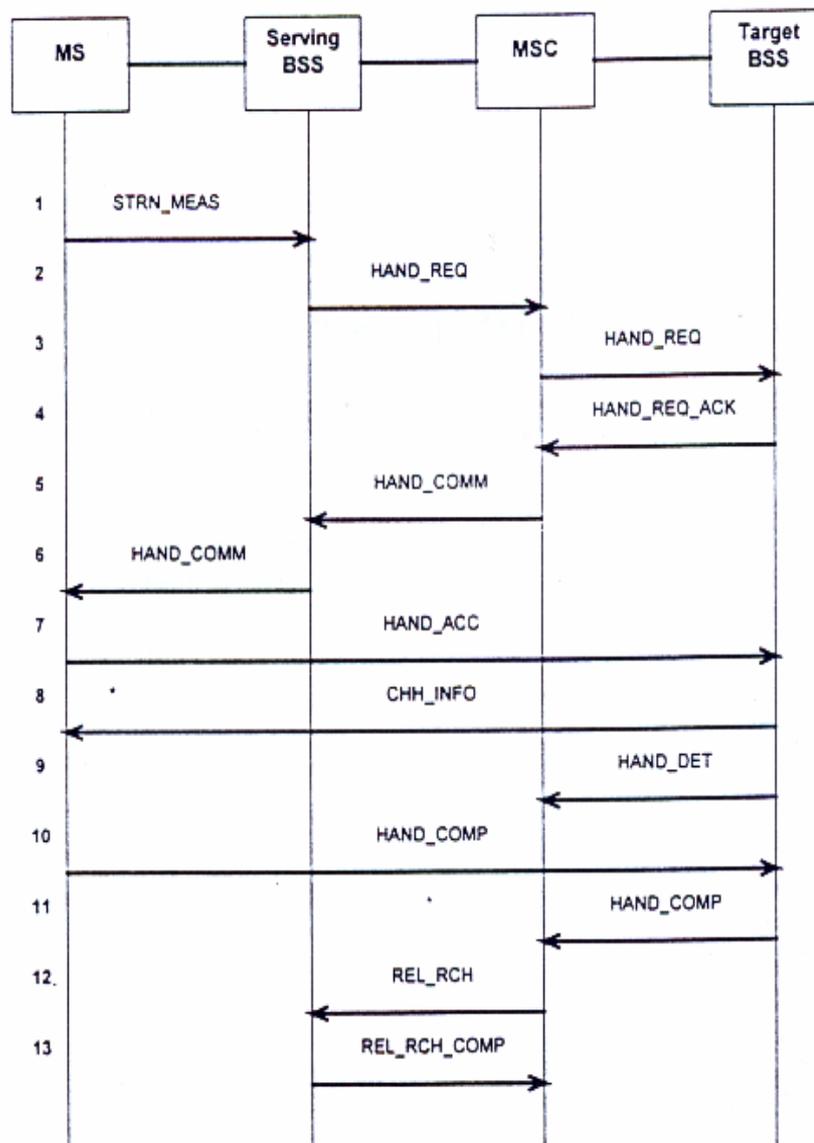
8) A BSC envia mensagem de CHH_INFO à MS;

9) A BSC informa à MSC o início da comunicação com a MS;

10) A BTS servidora e a MS trocam mensagens para sincronizar seus canais, direto e reverso. Ao fianl deste processo, a MS envia mensagem HAND_COMP à BSC;

11) A BSC envia envia HAND_COMP à MSC, informando que o Handover foi completado com sucesso;

12) A MSC envia mensagem REL_RCH à antiga BSC servidora informando que o antigo canal utilizado pode ser liberado;

13) A BSC responde à MSC, empregando mensagem REL_RCH_COMP;

F Troca de mensagens no processo de handover entre BTS´s pertencentes à mesma MSC

VII.8. Handover entre distintas MSC service area

Para execução de handover entre diferentes MSC Services Area são acrescentados os seguintes passos ao processo de handover anteriormente descrito:

3) A MSC servidora envia mensagem HAND_PER à MSC alvo, informando o pedido de handover;

4) A MSC envia mensagem HAND_NUM , solicitando ao seu VLR a designação de um TSMI;

5) O VLR alvo retorna à MSC o TMSI designado na mensagem HAND_NUM_COMP;

8) A MSC alvo envia mensagem HAND_PER_ACK à MSC servidora informando que está pronta para realizar o handover;

9) A MSC servidora envia mensagem NET_SETUP à MSC alvo requisitando o início do handover;

10) A MSC alvo responde à requisição através de mensagem SET_COMP;

18) Uma vez terminado o handover, a MSC alvo envia mensagem SEND_ENDSIG à MSC servidora;

19) A MS sintoniza o novo canal de rádio e a MSC alvo retorna a mensagem ANSWER à antiga MSC servidora;

22) A antiga MSC servidora responde à MSC alvo com mensagem END_SIGNAL;

23) A MSC alvo envia mensagem NET_REL à antiga MSC servidora e libera a conexão entre MSCs;

24) A MSC alvo envia mensagem REL_HAND_NUM ao seu VLR permitindo a liberação da conexão entre eles.

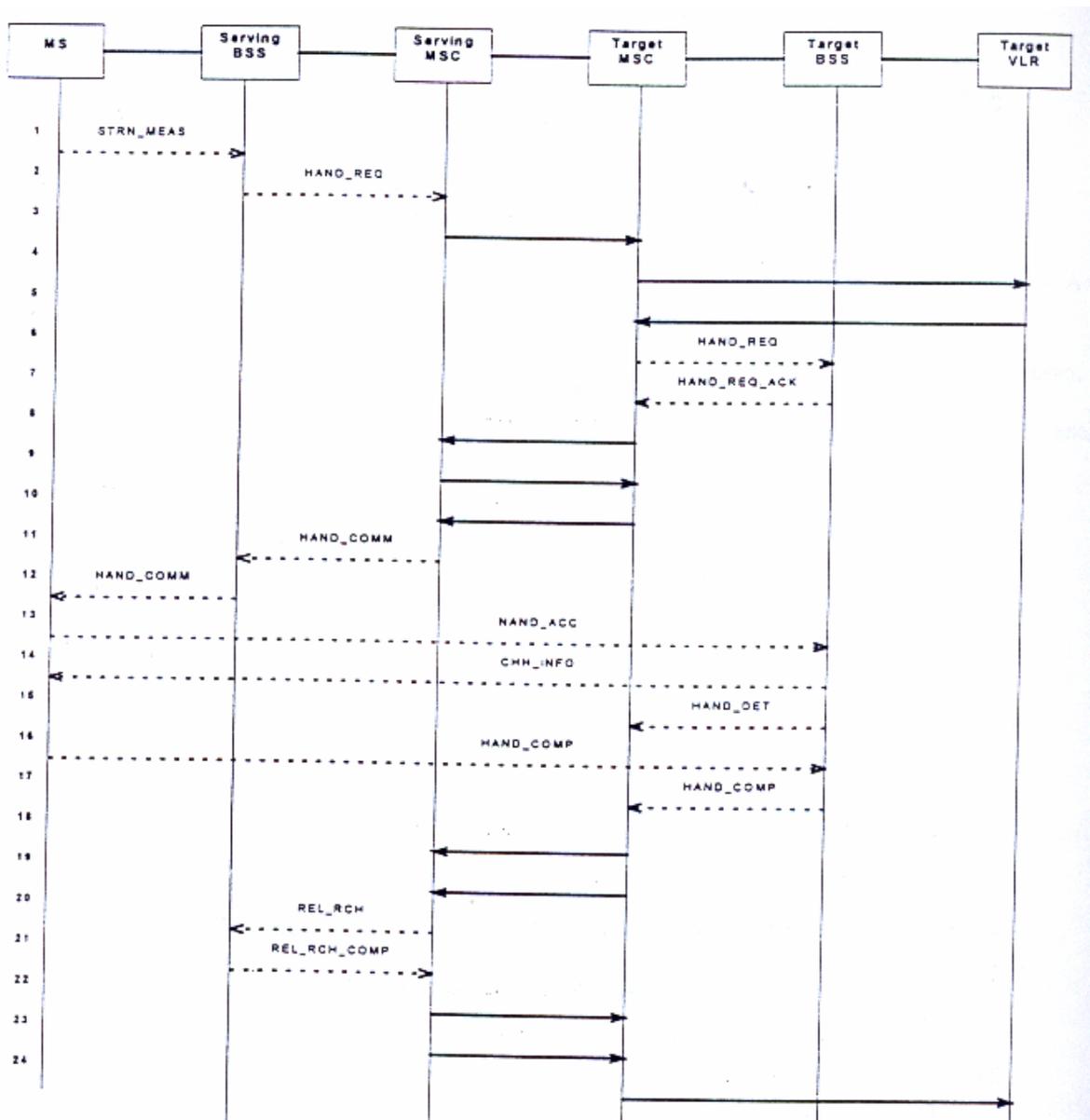



Fig Troca de mensagens no handover entre BTS´s pertencentes à MSC´s distintas

Capítulo VIII

Aspectos de propagação e Cálculo de cobertura em ambientes celulares e micro-celulares(GSM)

VIII.1. Aspectos de Propagação

O projeto de um sistema de comunicações móvel celular têm a finalidade de prover acesso ao serviço em toda a área proposta ao usuário, e isto utilizando o menor número possível de ERBs. Mas nem sempre é possível uma cobertura de 100% da área proposta. Assim, o projeto deve considerar a cobertura adequada de regiões com tráfego expressivo e ser flexível nas regiões de pouco tráfego.

O primeiro passo para o projeto de cobertura é definir que área geográfica onde acesso ao serviço será possível. Quanto maior a área de cobertura, maior a mobilidade para os usuários do sistema, consequentemente será maior também a quantidade de BTSs a serem utilizadas. Portanto, um estudo detalhado da área a ser coberta nos aspectos de topografia e tráfego é fundamental para a elaboração de um projeto eficaz e economicamente viável. O aspecto de tráfego será detalhado adiante. Com relação a propagação do sinal de rádio móvel, o terreno pode influenciar sob três aspectos:

- Obstrução: Obstáculos como montanhas, prédios, árvores ou a própria superfície terrestre podem bloquear parcialmente o feixe causando a atenuação por obstrução.
- Reflexão: Regiões razoavelmente planas como mares, lagos e planícies podem refletir o feixe de ondas com oposição de fase em relação ao sinal direto, causando a atenuação por interferência.
- Difração: Gumes como o cume de montanhas, canto prédios, ou a própria cunhada podem desviar parcialmente o feixe causando a difração do sinal.

A cobertura do sinal pode ser simulada através de modelos de predição que serão abordados mais adiante. Pela necessidade de conhecimento do tipo de terreno no qual o sinal vai ser transmitido, no estudo de propagação do sinal de rádio móvel, considera-se a área de serviço sob as seguintes condições:

Estruturas Artificiais	Terreno
Em área aberta	Sobre terreno plano
Em área suburbana	Sobre terreno montanhoso
Em área urbana	Sobre água
---	Através de folhagem

Quadro 8.1: Condições de Propagação

A localização de uma BTS baseado na de predição de cobertura tem índices da acerto maiores que 50 % dependendo do algoritmo de predição. Os planos de urbanização, as área sob litígio, dentre outros fatores, impossibilitam o posicionamento de algumas BTSs. Neste caso deve-se escolher um novo local e realizar novos estudos de predição de cobertura.

A análise de Rádio Propagação para o sistema GSM se mostra muito importante, pois como já sabemos, quanto maior a frequência em que um Sistema Rádio opera, maiores serão as atenuações por propagação que sofrerá. Ou seja, a atenuação que o espaço livre oferece a Onda Eletromagnética somada aos efeitos de Multipercurso e Difração, especialmente nos Grandes Centros onde há um grande número de Obstáculos, se acentuam muito mais.

As Ondas Eletromagnéticas que operam em 1,8 GHz são classificadas na frequência de UHF (Ultra High Frequency), com comprimento de onda na ordem de 10 cm. Nessa frequência, a Atmosfera e a Troposfera em pouco interferem na propagação das ondas, assim como a atenuação por Gases. Essas ondas são atenuadas por efeitos de Multipercurso (devido a obstáculos), Difração (em topo e paredes de prédios, casas, etc....) e Refração.

Então já podemos chegar a uma conclusão: o Sistema GSM tem raios de células menores que os sistemas que o antecederam. E realmente é o que se verifica, pois grande parte dos fabr

VIII.2. Modelo de Propagação

Propagação do Espaço Livre

$L = 32{,}4 + 20 * \log(f) + 20 * \log(d)$ [dB]

Onde:

L = perda

f = freqüência em MHz

d = distância em km

Exemplo de motivação:

Propagação no Espaço Livre em 850 MHz

$L = Pot.ERP - PotTel = 20dBm - (-80dBm) = 100dBm$

Então:

$L = 32{,}4 + 20 * \log(f) + 20 * \log(d)$

$100 = 32{,}4 + 20 * \log(850) + 20 * \log(d)$

$d = 2{,}822km = 2.822m$

Propagação no Espaço Livre em 1800 MHz

$L = Pot.ERP - PotTel = 20dBm - (-80dBm) = 100dBm$

Então:

$L = 32{,}4 + 20 * \log(f) + 20 * \log(d)$

$100 = 32{,}4 + 20 * \log(1800) + 20 * \log(d)$

$d = 1{,}332km = 1.332m$

Este exemplo ilustra como a perda é maior numa rede PCS do que nas redes celulares atuais, já que a freqüência é mais alta. Como conseqüência, o número de Estações Rádio Base irá aumentar. Uma solução é possível, aumentando-se a potência de transmissão, só que poderia causar mais problemas de interferência.

Podemos relatar as seguintes conseqüências:

- Células com tamanho menor.
- Relacionamento complexo entre células vizinhas.

Aumenta-se o problema da interferência.

VIII.3. Modelos para cálculo da cobertura GSM:

Existem vários modelos matemáticos e computacionais que fazem uma estimativa da cobertura da Região ou Cidade a ser servida pela Rede Celular. Porém, como esses modelos são empíricos, estes nem sempre fornecem com exatidão a real cobertura de uma certa área, até porque os resultados desses modelos foram obtidos em determinadas regiões, sob condições especificas do local.

No caso do Sistema GSM, os Modelos de predição mais utilizados para são :

❑Macrocélulas – COST 231 (Modelo Okumura-Hata), Tipo Ponto-Área
❑Microcélulas – Modelo de Walfish Ikegami, Tipo Ponto-a-Ponto

VIII.3.1. Macrocélulas (leva em conta somente macrovariações):

A atenuação é calculada através de :

L = 46,3 + 33,9*Log(f) - 13,82*Log(ht) - a(hr) + (44,9 -6,55*Log(ht))*Log(d) + CM

Sendo:

L – atenuação em dB
f - frequência em MHz – 1500 < f < 2000 MHz
d – distância em km – 1km < d < 20km
ht – altura da antena – 30m < ht < 200m
a(hr) – fator de correção em dB
CM – fator de correção
hr – altura do receptor (móvel) – 1m < ht < 10 m

CM – 0 dB para cidades de tamanha médio e áreas suburbanas
CM – 3 dB para Grandes Cidades

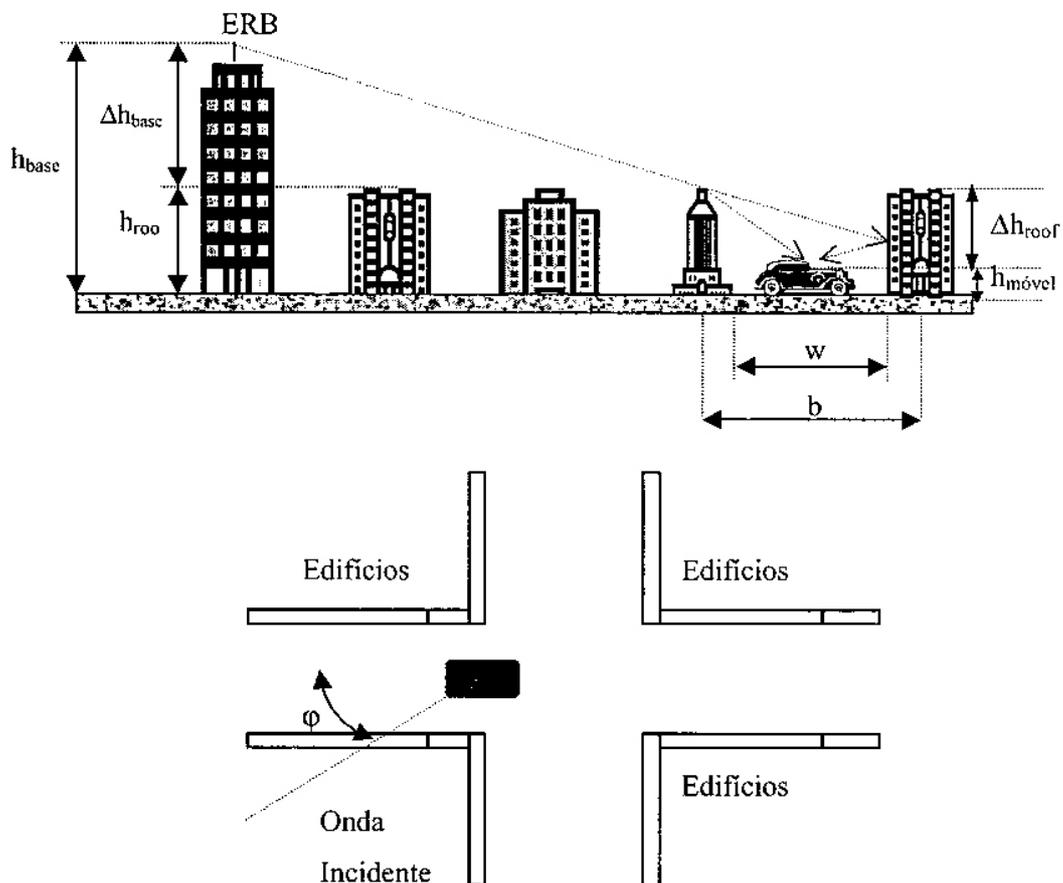
❑Fator de correção para Grandes Cidades :

a(hr) = 8.29*(Log1,54*hr)^2 – 1,1 para f ≤ 300 MHz

a(hr) = 3.2*(Log11,75*hr)^2 – 4.97 para f > 300 MHz

❑Fator de correção para cidades pequenas e médias :

a(hr) = (1,1*Logf - 0.7)*hr – (1.56*Logf – 0,8)

VIII.3.2.Microcélulas (leva em conta macro e micro variações):

Onde :

hroof – altura média dos edifícios

hmóvel – altura média da antena do móvel – 1m ≤ hmóvel ≤ 3m

hbase – altura da ERB – 4m ≤ hbase ≤ 50m

f – frequência – 800 MHz ≤ f ≤ 2000 MHz

d – raio da célula – 20m ≤ d ≤ 5 km

w – largura das ruas

b – separação entre edifícios

φ - orientação da estrada com relação ao enlace

Esse modelo calcula a atenuação em um enlace levando em consideração dois possíveis casos:

- **Visada Direta**

LLOS = 42.6 + 26*Logd + 20*Logf

- **Visada Indireta**

LNLOS = Lo + Lrts + Lmsd   para Lrts + Lmsd ≥ 0

LNLOS = Lo   para Lrts + Lmsd < 0

Sendo:

Lo – perda de propagação em espaço livre, em dB

Lrts – perda devido a difração entre o topo dos edifícios e a rua, e espalhamento, em dB

Lmsd – perda por múltiplas difrações nos vários obstáculos, em dB

Lo = 32.4 + 20Logd + 20Logf + Lori

Lrts = -16 –10Logw + 10logf + 20LogΔhmóvel

Lrts = 0   para Lrts < 0

Lori = -10 + 0,35φ   para 0 ≤ φ < 35º

Lori = 2,5 + 0,075(φ - 35º)   para 35º ≤ φ < 55º

Lori = 4 – 0,114(φ - 55º)   para 55º ≤ φ ≤ 90º

Δhmóvel = hroof – hmóvel

Δhbase = hbase – hroof

$Lmsd = Lbsh + ka + kdLogd + kfLogd + kfLogf – 9logb$

$Lmsd = 0$ para $Lmsd < 0$

$Lbsh = -18Log(1 + \Delta hbase)$ para $hbase > hroof$

$Lbsh = 0$ para $hbase \leq hroof$

$Ka = 54$ para $hbase > hroof$

$Ka = 54 – 0,8\Delta hbase$ para $d \geq 0,5$ km e $hbase \leq hroof$

$Ka = 54 – 1,6\Delta hbase*d$ para $d < 0,5$ km e $hbase \leq hroof$

$Kd = 18$ para $hbase > hroof$

$Kd = 18 – 15*\Delta hbase/hroof$ para $hbase \leq hroof$

Para Grandes Centros:

$Kf = - 4 + 1,5*((f / 925) – 1)$

Para Cidades de tamanho médio e subúrbios:

$Kf = - 4 + 0,7*((f / 925) – 1)$

IX. Aspectos de Planejamento de Sistemas GSM

IX.1. Introdução ao planejamento

O projeto de sistemas celulares envolve aspectos como definição do padrão de reuso, interferência co-canal, limiar da relação sinal/ruído aceitável, previsão de tráfego na Hora de Maior Movimento (HMM) por região, a distribuição geográfica dos usuários, dentre outros que podem ser analisados separadamente e depois relacionados entre si. Outros aspectos estão fora do controle do projetista e são estudados como estratégia de implementação.

O projeto de um sistema pode ser dirigido pela tecnologia. Desta forma as características do sistema são ditadas pela tecnologia e equipamentos disponíveis no mercado. Isto traz a grande vantagem de um cronograma de implementação curto. Por outro lado o usuário deve adaptar suas necessidades aos equipamentos existentes.

Em uma outra abordagem, o projeto dirigido pelas aplicações busca o entendimento das necessidades do usuário. As atenções estão voltadas para o grau de serviço (GOS) esperado, a qualidade de serviço (QoS) contratada, o tipo de informação a ser trafegada, largura de faixa disponível ao usuário, a privacidade na comunicação, as características do tráfego da informação (velocidade, duração, atraso), etc. Isto tudo pode até sair barato se o usuário estiver disposto a pagar pelo serviço.

Para fins de custo procura-se projetar um do sistema celular com a quantidade mínima de BTSs cobrindo a área definida, GOS e qualidade compatíveis com o anseio do usuário. Deve-se considerar que as áreas de maior tráfego devem ter maior atenção no projeto. Os parâmetros como área efetivamente coberta, GOS, grau de mobilidade e qualidade do sinal recebido são conceitos relevantes quando a satisfação do usuário é o fim.

O planejamento de um sistema começa pela definição da área de serviço de serviço a ser atendida a partir da distribuição geográfica do tráfego a ser atendido. Em seguida, em ambiente computacional de simulação, localiza-se a primeira BTS. A partir de um plano de reuso, localiza-se as outras BTSs em função do tráfego oferecido por cada BTS. Todo sistema deve ser projetado para permitir expansões tanto em área atendida como em tráfego oferecido. O ambiente computacional faz a predição de cobertura celular e detecta as possíveis condições de interferências co-canal. A partir deste resultado o projetista rearranja as ERB de modo a evitar as condições de interferência. Após nova predição a equipe de

projeto começa os levantamentos em campo. Observando-se a coerência no projeto inicia-se a implantação do sistema.

Os passos descritos formam uma linha geral de projetos de sistemas de comunicações móveis celular e não precisam ser seguidos necessariamente na ordem descrita. Detalhamos a seguir alguns estudos que integram estes passos:

IX.2.Volume de Tráfego

O objetivo de qualquer empresa é sempre o lucro. Assim, o projetista deve iniciar seus estudos pela estimação do volume e perfil do tráfego na região de concessão para a exploração do serviço de comunicação móvel celular.

Um grupo responsável pela pesquisa de mercado deve apresentar informações precisas sobre a distribuição do tráfego na região, incluindo estudos em Hora de Maior Movimento.

Estes estudos podem ser apresentados, por exemplo, em forma de mapa geográfico, apresentando a região estudada dividida em quadrículas, cada qual contendo sua respectiva densidade de tráfego média e/ou em HMM. Sempre vale lembrar que a HMM em certa quadrícula pode não coincidir com a HMM do sistema. Para o projeto de áreas urbanas utiliza-se quadrículas em torno dos 4 km^2 área.

Figura 9.1: Levantamento local do volume e perfil do tráfego

0	0	1	2	1	1	1	0	0
0	1	2	3	2	2	1	1	0
1	2	4	5	5	4	3	1	1
1	3	4	5	5	4	2	1	0
1	2	4	4	4	3	2	2	0
1	2	3	3	3	2	3	2	1
0	0	0	1	1	2	0	1	0

Outro procedimento importante é associar às quadrículas o seu fator de mobilidade, da ordem de 8% a 20%. Observe que, mesmo em termos de mobilidade, as células centrais apresentam HMM diferente que as células periféricas.

IX.3. Definição da área de serviço:

A definição da área geográfica que será atendida pelo serviço de comunicação móvel celular leva em consideração tanto o volume de tráfego a ser atendido quanto a relevância de atender regiões com baixo volume de tráfego. Restringir a área de serviço a regiões com alto volume de tráfego pode trazer insatisfação aos assinantes do serviço por considerarem este com pouca mobilidade.

Se por um lado as áreas de serviço extensas oferecem grande mobilidade aos usuários, por outro, quanto maior a área, maior a quantidade de estações a serem utilizadas, mais caro fica a implantação do sistema. Daí a importância de obter informações sobre perfil do assinante.

A determinação do número de ERBs(ou BTS, no caso do GSM) necessária ao sistema depende, além da definição da área de serviço, também do número máximo de canais por ERB e das condições de propagação do sinal de rádio móvel nas determinadas regiões do sistema.

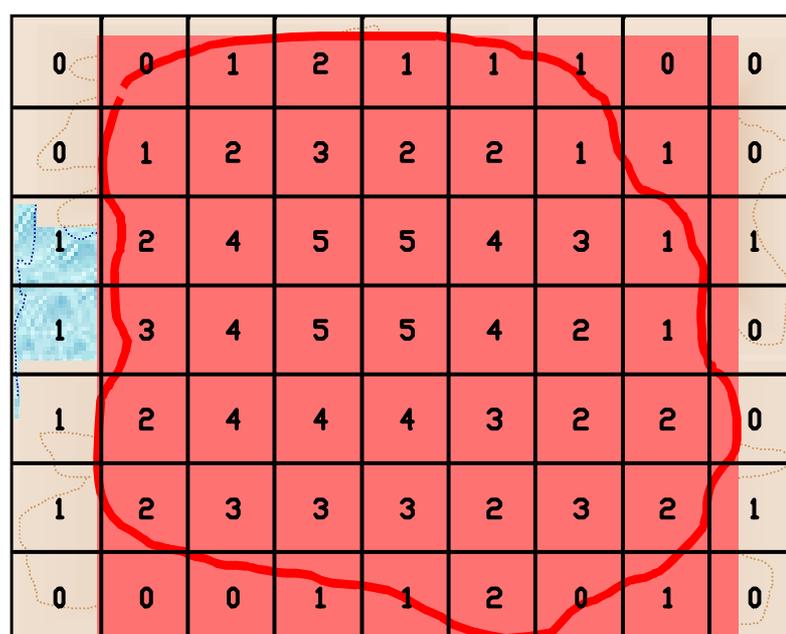



Figura 9.2: Definição da área de serviço do sistema

IX.4. Definição da Distribuição de Tráfego

Em alguns projetos apenas a definição da área a ser coberta já é suficiente para a determinação da quantidade de BTSs necessários. No entanto, a grande maioria precisa de um estudo mais detalhado.

As BTSs localizadas em áreas de alta densidade populacional, correspondendo a alto tráfego, necessitam de grande quantidade de canais para escoamento das tentativas de chamadas efetuadas pelos usuários. Já nas BTSs situadas em áreas periféricas, a situação se inverte, necessitando pouca quantidade de canais.

O grupo responsável pelas avaliações de mercados e custos deve fornecer à equipe de projetistas informações sobre a distribuição da demanda de serviço pela área geográfica definida para atendimento.

Em sistema móveis a distribuição do tráfego não é estática , ou seja a hora de maior movimento (HMM) de cada quadrícula (é associada a um valor correspondente de tráfego) é dependente de sua localização e do que nela existe. Região urbana, urbana densa, suburbana, rural, etc.

Cuidados devem ser tomados para que a atribuição do tráfego para cada quadrícula seja feita com base na HMM correspondente a cada quadrícula. Caso contrário, o sistema pode funcionar bem, em termos de tráfego e probabilidade de bloqueio, em certas horas do dia e mau em outras, exibindo alto fator de bloqueio, produzindo alta perda de chamadas.

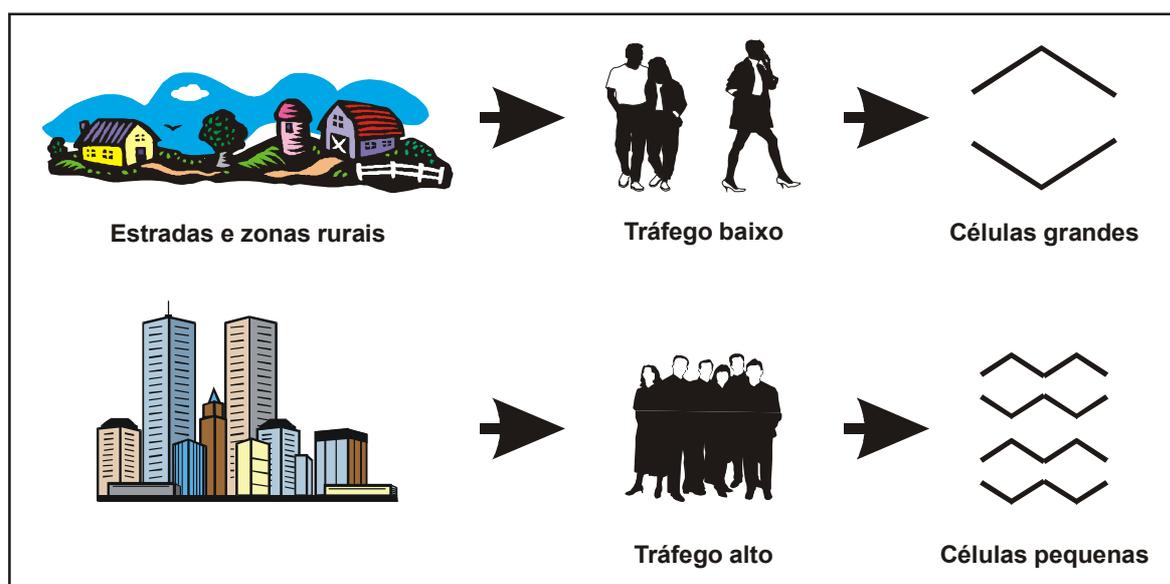



Figura 6.4 - Densidade de tráfego

IX.5. Localização da primeira BTS e definição do raio da primeira célula.

Tendo as definições concernentes à área a ser coberta, distribuição geográfica do tráfego e fator de reuso adotado, o projetista já tem condições de iniciar o projeto já tem condições de iniciar o projeto do sistema celular, especificando agora a localização da primeira BTS.

Normalmente posiciona-se a primeira BTS na região de maior concentração de usuários, ou seja, de maior tráfego e importância para o sistema. Dados como infraestrutura própria já existente, terrenos disponíveis e regulamentação urbana são utilizadas para a escolha do local apropriado.

É feita então uma estimativa do raio de cobertura da célula correspondente à primeira BTS. Duas situações são possíveis:

- Tráfego estimado apresenta folga,
- Tráfego estimado é crítico ou se tornará crítico após o lançamento comercial do sistema

O primeiro caso é normalmente verificado no atendimento de regiões rurais e suburbana e estradas.

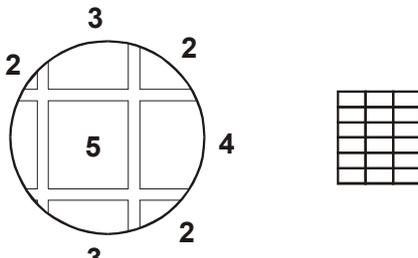
Nesta situação o que limita o raio de cobertura das células é a propagação do sinal em ambiente móvel. Uma estimativa do raio das células pode ser feita em função de resultados obtidos com métodos de cálculo de predição de cobertura.

A Segunda situação, mais comum em projetos celulares ocorrem em áreas urbanas densamente povoadas ou de grande afluxo de pessoas tornando-o tráfego crítico. Como a capacidade máxima de cada célula não depende do seu raio, mas é função do número de canais de tráfego disponíveis no sistema e do fator de bloqueio definido, os raios das células devem ser projetadas para suportar o tráfego estimado.

Isto quer dizer que a somatória de tráfego especificada em cada quadrícula, total ou parcialmente coberta por uma BTS, tem que ser menor ou igual ao tráfego obtido pela consulta da tabela Erlang para a quantidade de canais e fator de bloqueio especificados.

Consultando-se a tabele Erlang para bloqueio de 2% obtém-se as seguintes quantidades de canais para escoamento do tráfego calculado:

- Raio de cobertura pequeno – 17 canais com tráfego total de 10,67 Erlang
- Raio de cobertura grande – 32 canais com tráfego total de 23,61 Erlang

a. Célula com raio de cobertura pequeno:

$$A \approx 2x\frac{1}{18} + 3x\frac{6}{18} + 2x\frac{4}{18} + 3x\frac{4}{18} + 5x1 + 4x\frac{12}{18} + 2x\frac{1}{18}$$

$$A \approx \frac{1}{9} + 1 + \frac{4}{9} + \frac{2}{3} + 5 + \frac{8}{3} + \frac{2}{3} + \frac{1}{9}\ \mathit{Erlang}$$

$$A \approx 10.67\ \mathit{Erlang}$$

b. Célula com raio de cobertura grande:

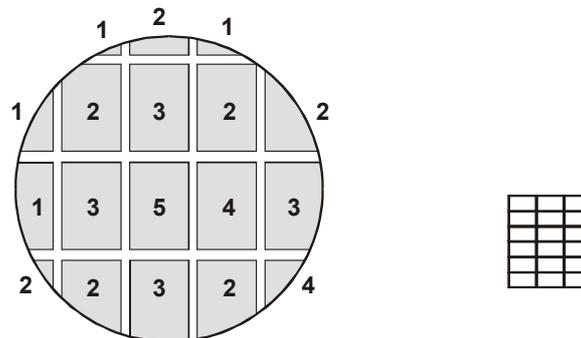



Figura6.8 - Somatória do tráfego das quadrículas cobertas

$$A1 \approx 1x\frac{1}{18} + 2x\frac{3}{18} + 1x\frac{2}{18} = \frac{1}{2}$$

$$A2 \approx 1x\frac{1}{18} + 2x\frac{15}{18} + 3x1 + 2x\frac{17}{18} + 2x\frac{8}{18} = \frac{15}{2}$$

$$A3 \approx 1x\frac{5}{18} + 3x1 + 5x1 + 4x1 + 3x\frac{12}{18} = \frac{257}{18}$$

$$A4 \approx 2x\frac{1}{18} + 2x\frac{11}{18} + 3x\frac{17}{18} + 2x\frac{15}{18} + 4x\frac{4}{18} = \frac{121}{18}$$

$$A = A1 + A2 + A3 + A4$$

$$A \approx 23{,}61\ \mathit{Erlang}$$

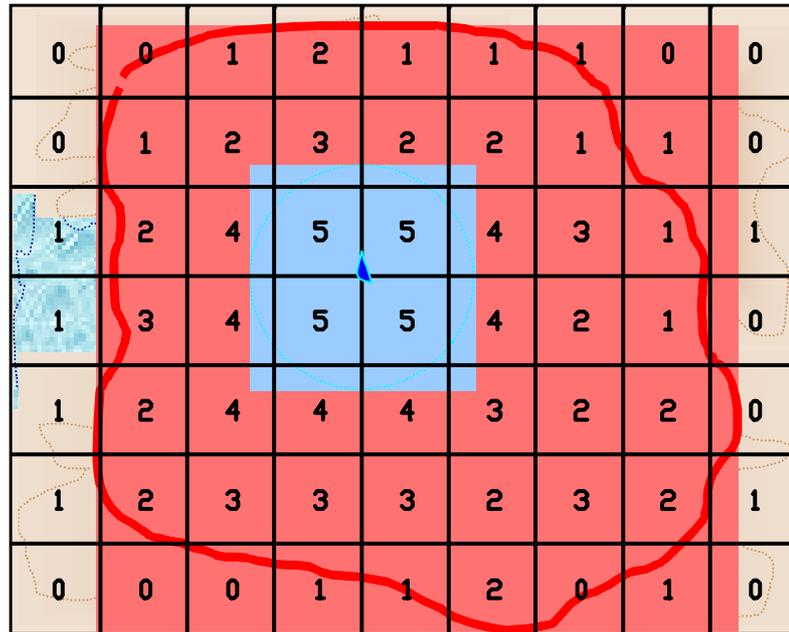



Figura 9.3: Posicionamento da primeira ERB.

IX.6.Padrão de Reuso

O padrão de reuso *N* a ser adotado deve levar em consideração a interferência, o tráfego a ser atendido por cada célula e, principalmente, a possibilidade de expansão do sistema.

Lembramos que quanto menor o padrão de reuso *N*, menor será a relação *D/R* implicando em pior qualidade do sinal devido à interferência co-canal. Por outro lado maior será a quantidade de tráfego oferecido por célula, pois terá mais canais.

Um boa idéia é dar início a um sistemas com padrão de reuso mais elevado, com menor tráfego oferecido por célula. Quando necessário, basta alterar para um padrão de reuso menor apenas por realocar os canais nas ERBs já existentes. Teremos assim um maior número de canais por ERB.

IX.7. Localização dos Demais BTSs (distribuição de hexágonos de Raios R, 2R e 4R)

Inicia-se agora, a localização das BTSs necessárias ao atendimento das áreas não cobertas pela primeira.

Células devem ser posicionadas em todas as localidades onde se espera encontrar tráfego para o futuro sistema – locais estratégicos como estradas, aeroportos e áreas urbanas e comerciais importantes devem também ser considerados.

Após a definição da primeira célula deve-se então, definir as células que faltam para a complementação do plano de reuso. Isto é se K = 7 por exemplo, deve-se localizar 6 células. Se K = 4 deve-se localizar 3 células – Tais células devem Ter seus raios de cobertura o mais próximo possível do raio da primeira BTS, ou múltiplos pares deste.

A localização da BTSs deve ser feita de tal forma que células de mesmo raio estejam posicionadas sobre uma circunferência cujo centro é a primeira BTS.

Caso sejam necessárias mais células para cobrir área de serviço, o raio de cada célula, adicional pode ser igual a uma ou duas vezes o valor do raio das células já posicionadas. Após a camada de células com raio 2R, pode-se posicionar novas células com raio 2R ou 4R e assim por diante.

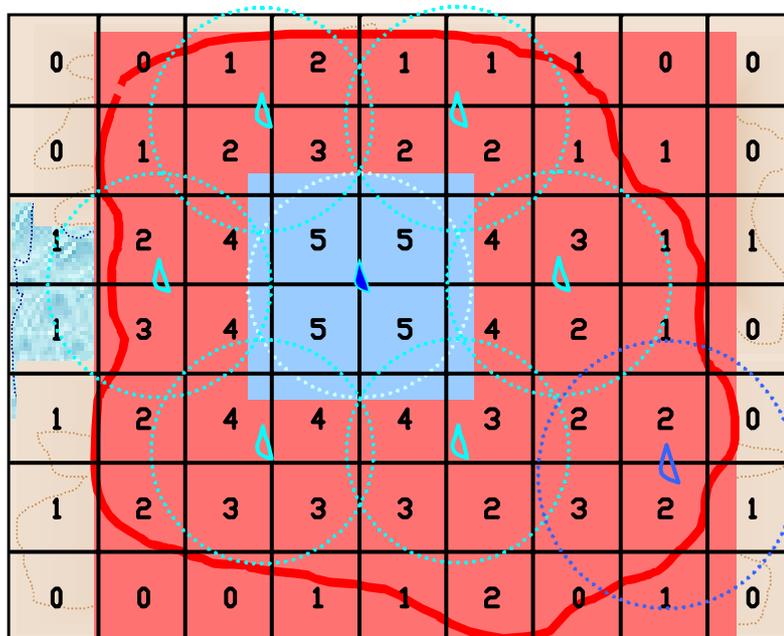



Figura 9.4: Localização das ERBs.

IX.8. Predição de Cobertura e Interferência

Até o momento, o projetista obteve apenas dados teóricos – células reais não possuem a forma circular, muito menos a hexagonal. Devido à topografia do terreno ao redor da BTS, a forma da célula é, na verdade irregular. É claro que trabalhando com células de formato hexagonal ou circular torna-se mais fácil a aplicação dos princípios do projeto celular.

Para projetar o tráfego a ser atendido deve-se somar os valores atribuídos as quadrículas cobertas por cada célula. Nos valores obtidos deve-se colocar o fator de mobilidade, da ordem de 8 a 20%. Esse fator de mobilidade é devido também ao fato dos horários de maior tráfego das células serem distintas, pois as células centrais apresentam horário de maior movimento bastante distinto da HMM das células de periferia.

Existem, basicamente, duas maneiras de verificar o comportamento da cobertura da célula.

- Através de medições em campo
- Através de estudos computacionais

Existem diversos modelos matemáticos empregados no estudo de predição de cobertura. Cada modelo apresenta vantagens e desvantagens em relação aos demais com respeito a determinadas condições de propagação específicas.

O sistema GSM é mais robusto em relação à interferência do que os sistemas analógicos devido as técnicas de codificação de canal e diversidades empregadas.

Devido as características de modulação em projetos GSM normalmente adota-se valor C/I de 9 dB como suficiente para garantir boa qualidade de comunicação, ou seja, garantir taxa de erro de bits (BER) aceitável.

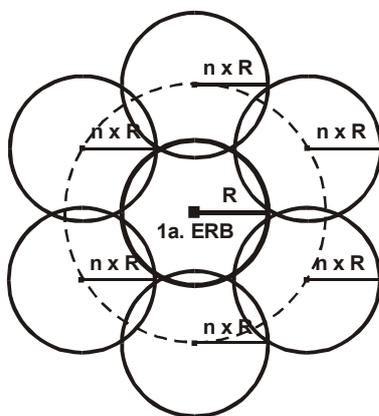



Figura 6.9 - Posicionamento e raio das primeiras células

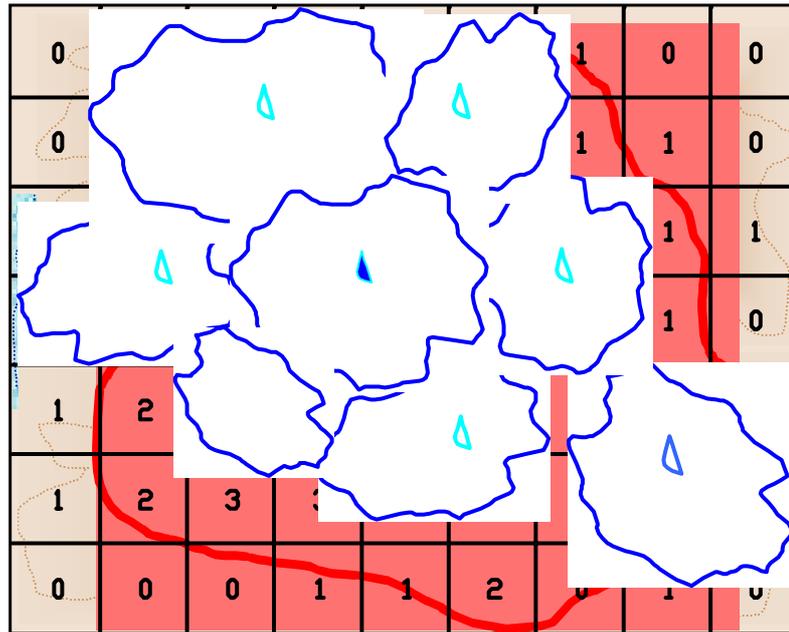



Figura 9.5: Predição de cobertura.

IX.9. Reavaliação de localizações e tamanhos das células (projeto preliminar)

Baseado nos resultados obtidos pelas predições, o projetista tem condições de avaliar se os parâmetros das BTSs, como posicionamento, altura da torre, potência, tipo de antena e outros devem ser modificadas para melhor atendimento aos requisitos dos sistemas.

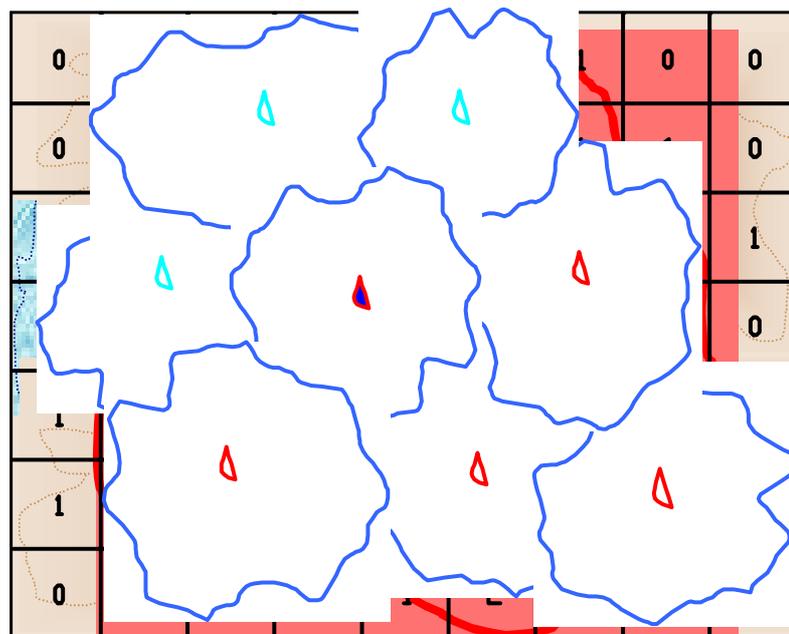



Figura 9.6: Redefinição do projeto.

Exemplo: Posicionamento de BTSs seguindo o padrão de grade de hexágonos ou coméia, localizada atrás de um morro, e, para que a cobertura se torne adequada, é necessário aumentar a altura da torre, ou mesmo mudá-lo de local.

A cada mudança efetuada nos parâmetros do sistema, é recomendada a realização de novos estudos de predição computacional, até que os resultados obtidos se aproximem o suficiente do desejado.

IX.10. Survey radio em campo

É preciso, mas também muito demorado e custoso, pois envolve a utilização de instrumental e pessoal capacitado por um longo período de tempo, ele demonstra comportamento mais adequado do que o sistema computacional.

Então, deve-se realizar teste em campo para não permitir que os erros do modelo de predição sejam detectadas apenas após a implantação do sistema.

Para realização dos testes em campo, são utilizados transmissores e torres instaladas provisoriamente, ou não nos locais pelas predições. Enquanto os sinais são transmitidos por tais BTSs, uma ou mais equipes mundiais de instrumentos adequados coletarão medidas de nível de sinal em vários pontos da área de serviço.

O Survey radio demonstra, então, qual o real comportamento do sistema. Com os resultados obtidos decide-se quanto a instalar ou não os equipamentos do sistema nos locais previstos.

IX.11. Projeto final – reavaliação e localizações e tamanhos das células

Após as medidas realizadas em campo, deve-se reavaliar novamente os raios e as localizações das BTSs de modo a melhorar ainda mais os estudos de predição de cobertura de sinal e interferências.

Capítulo X - Novos Serviços de Dados para GSM

Novas exigências do mercado ditam o comportamento dos sistemas de comunicações móveis e sua conseqüente evolução.

As redes GSM estão evoluindo de forma a criar uma ponte para que as tecnologias da 3ª geração possam ser introduzidas de forma eficiente. Esta evolução deverá permitir às operadoras de redes GSM uma modificação gradual do sistema para atender os serviços e as necessidades futuras.

As redes GSM atuais fornecem acesso aos serviços de dados através dos "bearer services" (serviços de transporte) via dados comutados por circuito. Consequentemente, uma conexão deverá está estabelecida durante a duração total da chamada, mesmo sem estar enviando dados. Isto representa um desperdício, tanto para o operador devido á escassez de recursos de rádio, como também para o usuário, já que tem que pagar pela duração total da chamada, mesmo sem estar enviando dados. Na evolução do sistema GSM são introduzidas novas técnicas para oferecer maiores velocidades de transmissão de dados, São elas:

- High Speed Circuit Switched Data (HSCSD)
- General Packet Radio Services (GPRS)
- Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE)

X.1. High Speed Circuit Switched Data (HSCSD)

Esta tecnologia emprega um novo esquema de codificação de canal, aumentando a atual taxa de 9.6 kbit/s de um time slot TDMA tradicional para 14,4 kbit/s. O HSCSD também toma possível a combinação de time slots permitindo que taxas múltiplas de 9.6 ou 14.4 kbit/s sejam alcançadas. Isto significa que operadoras de GSM poderão fornecer ao assinante taxas entre 9.6 e 57.6 kbit/s.

A ausência de um filtro duplexador na estação móvel, que permitiria a MS receber e transmitir informações simultaneamente limita o uso de múltiplos slots. Com o

HSCSD, uma combinação máxima de quatro slots TDMA pode ser empregada para gerar taxas de 57.6 kbp/s. A técnica permite o uso de três slots par downlink e um slot para uplink ou dois para downlink e dois para uplink.

O serviço de dados a 9.6 kbit/s é classificado como transmissão simétrica, ou seja, as taxas de transmissão disponíveis tanto para downlink como para uplink são iguais. A transmissão assimétrica pode fornecer taxa de dados diferenciados para cada sentido de conexão.

O HSCSD, por ser um upgrade de software (pode ser feito por acesso remoto), não necessita de substituição ou instalação de novos elementos de rede. Desta forma, a operadora de GSM evita o replanejamento da estrutura de rede, ao mesmo tempo em que obtém rápida implementação do novo serviço. Contudo, o usuário/assinante deverá adquirir um novo terminal.

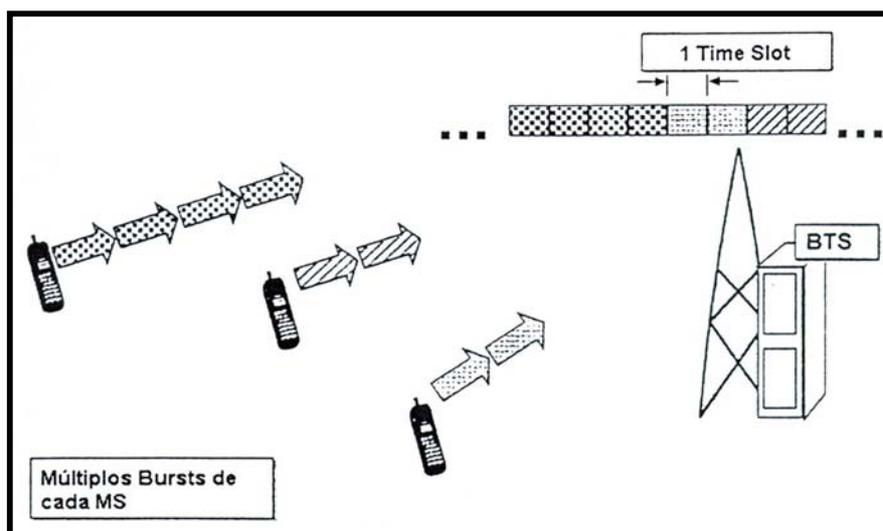



Figura 10.1 – Exemplo de múltiplos "time slots" por usuários

Do ponto de vista do usuário, HSCSD é apenas uma amplificação dos serviços de dados atualmente oferecido pelo sistema GSM.

O novo esquema de codificação do canal usado pelo HSCSD estimula a velocidade de um time-slot de 9,6 Kbps para 14,4 Kbps modificando a codificação do canal de tráfego. Do ponto de vista técnico, foi provado que a redundância na interface ar pode ser

reduzida, permitindo assim, aumentar a taxa de dados de usuário até 14,4 Kbps. Considerando que o HSCSD permite a combinação de time-slots, então é possível oferecer taxas de dados desde 9,6 Kbps até 57,6 Kbps.

Para poder suportar o HSCSD é necessário que se disponibilizem novos terminais para os usuários. Até três time-slots consecutivos de um frame podem ser usados pelos terminais com um único transceptor. Se mais de 3 time-slolt forem usados, o terminal necessitaria de mais um receptor, o que encareceria de mais o terminal. Por essa razão, os terminais HSCSD deverão ser do tipo 2+2 ou 3+1. HSCD oferece uma boa interoperalidade com as reds coutadas por circuitos atuais IISDN e PSTN).

X.1.1. Implementação na interface ar

Teoricamente no HSCSD é possível combinar de 2 até 8 time slots do mesrno canal na interface em cada direção. Assumindo que a taxa de dados de um time slot é de 14,4 kbps, então as taxas de dados possíveis seriam de 28.8 Kbps até 115.2 Kbps. No entanto a taxa de dados de usuário está limitada a 64 Kbps, que é a taxa que pode ser transportada em um canal da interface entre a BSS (Base Station Subsystem e o MSC (Mobile Switch Center). Se não for levado em consideração que o terminal móvel não possi duplexador, como discutido acima, então na prática a taxa máxima seria de 57,6 Kbps (correspondendo a 4 times slots).

Vale lembrar ainda, que para o caso de um time slot, o sincronismo entre o canal transmitido pela MS e o recebido da BTS apresenta uma defasagem constante correspondente a 3 time slots. Fazendo um exercício, para o caso de uma demanda de taxa de dados correspondente a 2 time slots, se observa que o sincronismo, nessa combinação, ainda permite identificar facilmente os time slots livres para processamento do MS. Se for aumentada a demanda para uma taxa correspondente a 3 time slots, se observará que a implementação do terminal móvel, vai ficando cada fez mais complexa, principalmente se os times slots não forem seqüenciais dentro do frame do canal. Ou seja, o número de time slots influencia muito o desenvolvimento dos terminais móveis. Por essa razão, na prática, os terminais HSCSD são do tipo 2+2 ou 3+1, de forma a manter a característica de transmissão e recepção de informação não simultânea do terminal.

Aplicações que se podem beneficiar do HSCSD são, por exemplo, o "download" de páginas da Internet, onde se pode realizar o processo usando 3 times slots no downlink (3 x 14,4 Kbps) e um time slot no uplink . A maior desvantagem do HSCSD é o preço para o usuário. Usar quatro times slots significa que terá de pagar 4 vezes mais. Em contrapartida, uma das grandes vantagens do HSCSD é a sua implantação rápida a um custo muito baixo (comparado com GPRS), já que somente requer de uma atualização software nas estações móveis.

A junção dos dados dos vários time slots requer que sejam disponibilizadas funções de "combinação" e "divisão" de dados, tanto na estação móvel como também no dispositivo de interface, entre a rede GSM e o elemento de rede que recebe os dados na outra ponta da conexão. Estes dispositivos normalmente são chamados de IWF – Interworking Function, e se constituem em uma interface física do central celular (MSC) do sistema GSM. A figura abaixo mostra a infraestrutura requerida para a implantação do sistema HSCSD.

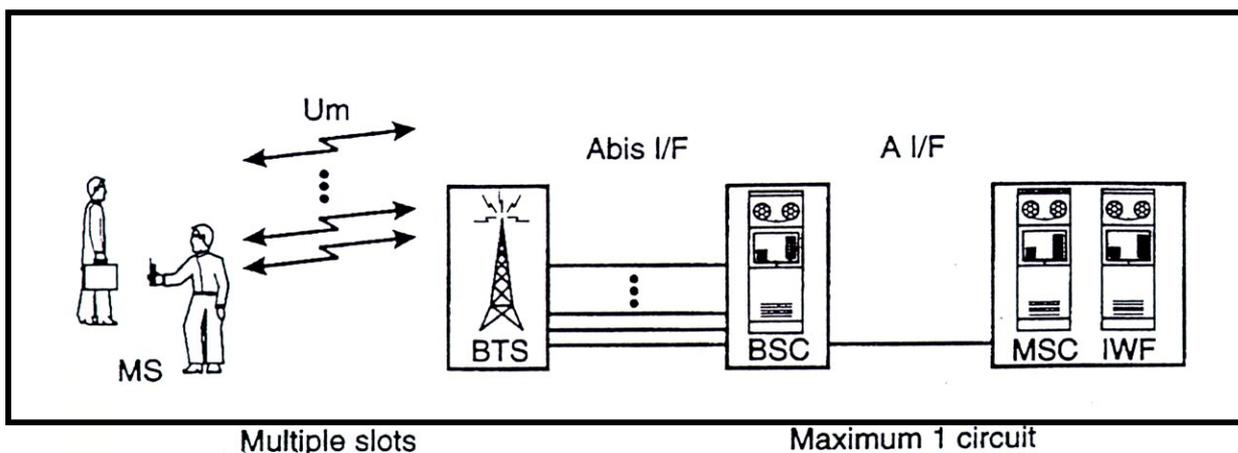



Figura 10.2 – Infra-estrutura para o HSCSD

Quando uma taxa de dados alto é alimentada no lado da estação móvel, ela divide essa taxa em um número apropriado de canais com taxa menor adequada ã interface ar. A informação é transportada pelos times slots através da rede GSM será combinada pelo IWF, no outro estremo da comunicação, recuperando a taxa original de dados que entrou na estação móvel.

Cada time slot individual é tratado pela rede GSM, exatamente da mesma forma como é tratado um time slot, transmitindo dados através de um serviço de transporte

(bearer service) disponíveis na fase 1 e 2 do GSM. Isto é, cabe à estação móvel e ao IWF tratar o serviço HSCSD. Desta forma o HSCSD pode ser visto mais como um veículo de transporte do que um serviço dedicado.

É importante notar que a estação móvel, além de suportar as modificações na interface ar necessárias para a alocação multi slot, deve ser capaz de gerenciar a "divisão" de uma taxa de dados de entrada mínima de 4,8 Kbps. Caso contrário, estaria desperdiçando recursos se, por exemplo, tenta dividir uma taxa de dados de entrada em time slots individuais com somente 2,4 Kbps.

X.2 General Packet Radio Services (GPRS)

GPRS é um serviço de dados comutado por pacote definido para o sistema GSM, que permite acesso do terminal móvel a rede de dados por pacotes (ex: Internet). O GPRS permitirá acesso mais rápido e eficiente às aplicações de transmissão de dados. O novo serviço emprega o princípio de rádio-pacote para transferir pacotes de dados do usuário entre o terminal GPRS e redes externas de dados. Redes baseadas em lP (Internet Protocol) e X.25 podem ser acessadas pelo serviço GPRS.

Usuários do GPRS serão beneficiados pelo tempo de acesso mais curto e pela taxa de transmissão de dados elevada. No GSM convencional, perdem-se vários segundos para o estabelecimento de uma conexão de dados e a taxa de transmissão é restrita a 9.6 kbits. O GPRS oferece tempo de estabelecimento de conexão menor que um segundo e taxa de dados comparáveis ao ISDN.

O serviço faz uso eficiente dos recursos de espectro através da alocação dinâmica de time slots . Um esquema diferente de codificação de canal (taxas de até 21.4 kbps por time slot) e o emprego de até oito time slots na transmissão é capaz de produzir uma taxa teórica de 171.2 kbps. No acesso aos serviços de dados pela rede GSM (Fase 1 e Fase 2), um time slot é dedicado a cada conexão. O GPRS aloca vários time slots para o serviço e compartilha este espectro dentre várias conexões (usuários).

Com o GPRS, não é necessário estabelecer uma conexão dial up (acesso discado) como a utilizada pela rede comutada. Isto resulta em acessos mais rápidos à rede, sem a espera por conexão ou disponibilidade de canais de conversação. O usuário estará "virtualmente sempre conectado" ao serviço.

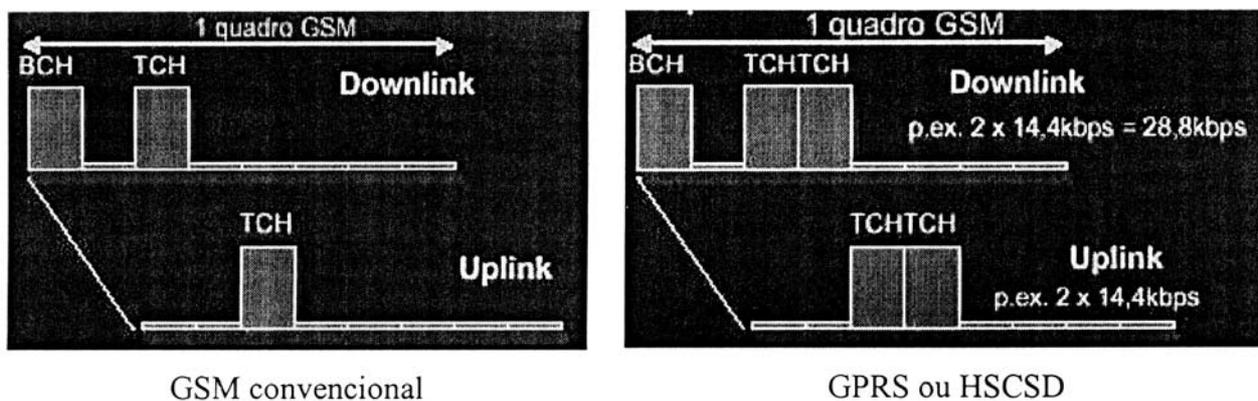
A transmissão por pacotes do GPRS oferece um modelo de tarifação mais justo do que a realizada pelos serviços da rede comutada. Nos serviços da rede comutada por circuito, a tarifação é feita sobre o tempo de conexão. Este modelo não é adequado para aplicações como Internet. O usuário é taxado pelo tempo que permanece conectado, mesmo nos períodos quando nenhuma informação é transmitida (ex: quando o usuário lê uma página Web).

O novo serviço permitirá que o usuário seja cobrado pelo volume de dados transmitidos. Como vantagem para o usuário, está o fato de que ele poderá permanecer conectado pelo tempo que desejar sem o custo do tempo de conexão.

O GPRS é padronizado pelo ETSI. Várias operadoras de GSM têm demonstrado grande interesse pela tecnologia e espera-se a implantação do serviço em vários países no período 2000/2001. A padronização do GPRS é um passo importante na evolução do sistema GSM, oferecendo superior capacidade e eficiência espectral quando comparado aos atuais serviços de dados para terminais móveis.

A principal diferença entre GPRS e HSCSD está relacionada ao protocolo a ser utilizado.

GSM convencional

GPRS ou HSCSD

GPRS permite a funcionalidade Internet móbil através da interconexão da rede Internet existente e a rede GPRS. Muitos dos serviços que são atualmente oferecidos na internet atual, por exemplo, FTP (File Transfer Protocol), web browsing, chat, e-mail, etc, estarão disponíveis na rede móvel GPRS.

X.2.1. Arquitetura GPRS

O GPRS é o primeiro serviço do GSM Fase 2+ que requer maiores alterações na infra-estrutura da rede. Isto se deve ao fato de que o GSM é baseado na comutação de circuitos (circuit swicth), enquanto que o GPRS utiliza a técnica de comutação de pacotes (packet switch). Para integrar o GPRS na estrutura de rede GSM são introduzidos novos equipamentos, chamados de elementos de suporte (GPRS Support Nodes). Estes elementos serão responsáveis pelo roteamento e distribuição de pacotes de dados entre o terminal móvel e a rede externa de pacotes (PDN - Packet Data Networks). São eles:

- Serving GPRS Support Nodes (SGSN)
- Gateway GPRS Support Nodes (GGSN)
- Backbone GPRS
- Point-to-Mutipoint Service Centre (PTM SC)

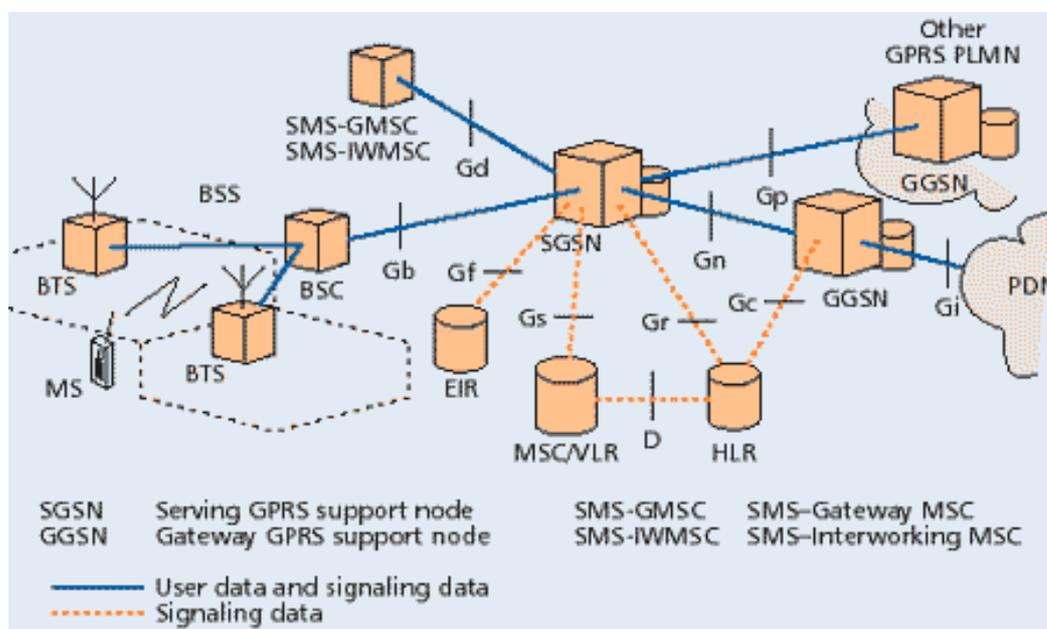



Figura 10.4 – Infra-estrutura GPRS

O SGSN oferece suporte a todos os MS para GPRS; e é responsável pelo roteamento dos pacotes de dados dos terminais móveis que estão fisicamente dentro da área de serviço do SGSN. Inclui as funções de autenticação e autorização, controle de acesso, aquisição de dados de tarifação, transferência e roteamento de pacotes, gerenciamento de conexão e mobilidade e conexão com HLR, MSC e BSC.

GGSN é o elemento de interface entre redes GPRS e as redes de dados externas (IP e X.25). O GGSN converte os pacotes GPRS oriundos da SGSN para o formato de protocolo de pacotes (PDP - packet data protocol) apropriado (IP ou X.25), e envia os pacotes para a rede correspondente.

Do ponto de vista de uma rede lP externa, o GGSN é um hospedeiro contendo todos os endereços lP de todos os assinantes servidos pela rede GPRS. A funcionalidade para roteamento para o SGSN apropriado e a conversão de protocolos é também responsabilidade do GGSN.

O SGSN e o GGSN podem ser vistos como roteadores da rede, e todos os nós (GSNs) são conectadas através de um backbone IP. Existem dois tipos de backbone GPRS:

- Intra-PLMN - conecta as GSNs da mesma PLMN e portanto são redes IP privadas da operadora da rede GPRS;
- Inter-PLMN - conecta GSNs de diferentes PLMNs. Um acordo de roaming entre as operadoras de redes GPRS torna-se necessário para instalação deste tipo de backbone.

A figura ilustra a conexão entre duas redes móveis diferentes. A porta de acesso entre PLMNs e o backbone inter-PLMN é chamado Border Gateway. Dentre outras tarefas, ela é responsável pelas funções de segurança para proteger a rede contra acessos não autorizados e ataques (hack). Por outro lado, a implementação do GPRS prevê que os MS que suportam SMS deverão receber short mensagens via GPRS.

Na figura acima, existe uma interface entre o MSC e o SGSn com o objetivo de coordenar a sinalização das MSs que tem as facilidades tanto de comutação de circuitos como de comutação de pacotes.

O HLR armazena o perfil do usuário GPRS e as informações de roteamento (atual endereço SGSN e o(s) endereço(s) de cada usuário GPRS na rede móvel). O HLR também faz o mapeamento de cada assinante com um ou mais GGSNs. O HLR é acessado através do SGSN.

A BSC contém novas funcionalidades que lhe permitem controlar os canais transportando pacotes. Essa funcionalidade está contida na PCU - Packet Control Unit. Além disso, possui uma funcionalidade para gerenciamento da mobilidade em GPRS.

Na BTS são implementadas funcionalidades na interface ar, para suportar novos protocolos de pacotes de dados e funções para alocação de recursos (slots e canais). GPRS usa os mesmos canais físicos que são utilizados para voz. Isto permite manipular canais GPRS (PDCH) com canais comutados por circuito (TCH), na mesma célula. Um canal TCH é alocado para um único usuário. Em contrapartida, vários usuários podem multiplexar o seu tráfego no mesmo canal PDCH.

X.2.2 Serviços de Transporte e Serviços Suplementares

Os serviços de transporte fornecem a transferência de pacotes entre os pontos de origem e destino. São definidos dois tipos de transferência: ponto-a-ponto (PTP) e ponto-multiponto (PTM). O serviço PTP fornece a transferência de pacotes entre dois usuários nos modos PTP-CLNS (connectionless network service, para IP) e PTP-CONS (connection-oriented network service, para X.25).

O serviço PTP-CLNS, é caracterizado por uma transferência de pacotes de dados sem confirmação e sem garantia de entrega, similar a Paging. Já o serviço PTP-CONS, é caracterizado por uma transferência de pacotes de dados com confirmação e com garantia de entrega.

O PTM oferece a transferência de pacotes a partir de um usuário para múltiplos usuários. Existem dois tipos de serviço PTM:

- multicast PTM-M, onde pacotes de dados são transmitidos para uma certa área geográfica definida pelo originador da mensagem. Um identificador de grupo indica se os pacotes são destinados a todos os usuários ou a grupos de usuários.

- group call PTM-G, onde os pacotes de dados são endereçados a um grupo por usuários que podem estar em áreas geográficas diferentes.

O provedor de GPRS pode oferecer serviços adicionais não padronizados como acesso a banco de dados, serviços de mensagens e outros serviços de utilidade (autenticação de cartão de crédito, monitoração eletrônica, operações lotéricas, dentre outros).

Devido à complexidade do GPRS e às modificações necessárias na infra-estrutura da rede, e nos MS, este serviço será introduzido gradualmente em duas fases. A fase 1 permitirá oferecer os serviços ponto a ponto (PTP), enquanto que a fase 2 permitirá adicionar os serviços ponto a multiponto (PTM).

X.2.3. Qualidade de Serviço

Os requisitos de qualidade de serviço (QoS) relacionadas as aplicações móveis de transmissão de pacotes de dados são bastante diversas. Por exemplo, os requisitos para uma aplicação multimídia são diferentes de uma aplicação de transferência de e-mail.

Em GPRS os requisitos de qualidade de serviço podem ser especificadas em cada chamada Individual, usando os seguintes parâmetros: Prioridade do serviço, confiabilidade, retardo e vazão.

A prioridade de serviço está relacionada com a ordem de precedência das classes de QoS. São três os níveis de prioridade: Alta, Normal e Baixa.

O grau de confiabilidade indica as características de transmissão requeridas por uma dada aplicação. As classes de confiabilidade são definidas de forma a garantir os valores máximos de probabilidade de perda, duplicação, seqüência e pacotes corrompidos (tabela 10.1).

Classe	**Probalidade de**			
	Perda de Pacote	**Duplicação de Pacote**	**Pacote Fora de Ordem**	**Pacote Corrompido**
1	$\mathbf{10^{-9}}$	$\mathbf{10^{-9}}$	$\mathbf{10^{-9}}$	$\mathbf{10^{-9}}$
2	$\mathbf{10^{-4}}$	$\mathbf{10^{-5}}$	$\mathbf{10^{-5}}$	$\mathbf{10^{-5}}$
3	$\mathbf{10^{-2}}$	$\mathbf{10^{-5}}$	$\mathbf{10^{-5}}$	$\mathbf{10^{-2}}$

Tabela 10.1 Classes de confiabilidade

Os parâmetros de retardo definem os valores máximos para 95 % em todas as transferências dos pacotes. O atraso é definido como o tempo de transferência fim-a-fim entre dois terminais móveis ou entre o terminal móvel e a interface da rede de pacotes externa externa. Isto inclui todos os atrasos de transmissão dentro da rede GPRS. Os atrasos ocorridos na rede externa não são levados em consideração. Os requisitos de retardo são apresentados na tabela abaixo:

Classe	**Pacote de 128 bytes**		**Pacote de 1024 bytes**	
	Atraso Médio	**95%**	**Atraso Médio**	**95%**
1	**< 0.5 s**	**< 1.5 s**	**< 2 s**	**< 7 s**
2	**< 5 s**	**< 25 s**	**< 15 s**	**< 75 s**
3	**< 50 s**	**< 250 s**	**< 75 s**	**< 375 s**
4	***Melhor possível***	*Melhor possível*	*Melhor possível*	*Melhor possível*

Tabela 10.2 – Classes de Retardo

Dessa forma, o serviço é tarifado em função do volume de dados transferidos, o tipo de serviço e do perfil do QoS.

X.2.4. Classes de terminais

Numa rede GSM/GPRS, os serviços convencionais baseados em comutação de circuitos (voz, dados e SMS) e os serviços baseados em comutação de pacotes, podem ser usados em paralelo. Três classes de terminais móveis são definidas para suportar esta capacidade:

- Classe A - suporta operação simultânea dos serviços GPRS e GSM. Os serviços são tratados independentemente um do outro.
- Classe B - o terminal é capaz de registrar-se nos dois serviços ao mesmo tempo, porém não suporta operação simultânea. A mudança entre os modos de operação é feita de forma automática.
- Classe C - o terminal móvel tem acesso aos dois serviços, porém sem registro e operação simultânea. O acesso a um tipo de serviço é feito de forma manual. Se o terminal está no modo de comutação de circuitos, ele estará inaccessível para o modo de comutação de pacotes e vice-versa.

X.2.5. Interface de Rádio

Em GPRS, além de ser necessário uma nova infra-estrutura, é necessária uma nova técnica de acesso na interface de rádio. Um novo conjunto de canais de controle é definido com funções similares àquelas realizadas pelos canais de controle do GSM da fase 1 e 2 original. Uma diferença é que a capacidade será alocada dinamicamente, isto é, se for necessário uma capacidade adicional, então a rede irá reconhecer este fato e alocará mais recursos (canais ou time slots).

A alocação de canais no GPRS é diferente do GSM original. O GPRS permite que uma MS transmita em mais de um time slot do mesmo frame TDMA (operação multi slot). O resultado é uma alocação de canais mais flexível. Além disso, os canais de downlink e uplink são alocados separadamente, o que permite o suporte eficiente a aplicações de tráfego assimétrico. O número de time slots destinados para cada sentido de transmissão não precisam necessariamente ser iguais.

NO GSM, um canal é exclusivamente designado a um usuário durante todo o período da sua chamada (mesmo que nada esteja sendo transmitido). No caso do GPRS os canais somente serão alocados quando pacotes de dados forem transmitidos ou recebidos, tomando-se disponíveis para o sistema depois de completada a comunicação. Com este princípio, vários usuários podem compartilhar o mesmo canal físico.

Uma ERB com suporte a GPRS pode alocar canais físicos para o tráfego deste serviço. Este canal é denominado PDCH (packet data channel). Os canais PDCH são definidos a partir do conjunto de canais disponíveis na célula. Desta forma, os recursos de espectro são compartilhados entre todas os terminais móveis GPRS e GSM convencionais.

O mapeamento dos canais físicos, para transmissão por pacotes (GPRS) ou por comutação de circuitos (GSM convencional) pode ser feito de forma dinâmica, dependendo do tráfego, prioridade de serviço e classe do multi slot. Um procedimento de supervisão avalia a carga de tráfego gerada pelos canais PDCH na célula. Dependendo da demanda, o número de canais alocados para GPRS (número de PDCH) pode ser alterado. Canais não ocupados pelo GSM podem ser alocados para o GPRS para a aumentar a qualidade de serviço (QoS). Quando ocorrer uma demanda de serviços com maior prioridade, os canais PDCH podem ser liberados.

Com GPRS, um número maior de usuários GPRS, podem potencialmente, compartilhar a mesma largura de banda e serem servidos pela mesma célula. O número de usuários suportados depende da aplicação que está sendo usada e da quantidade de dados que está sendo transferida.

Outro ponto importante de ressaltar é que GPRS define 4 esquemas de codificação (CS – Coding Scheme), que apresentam diferentes níveis de proteção de erros, desde uma proteção alta até um esquema sem proteção.

X.2.6. Canais Lógicos GPRS

Sobre os canais físicos (a recorrência de um time slot, define um canal físico), é definida uma série de canais lógicos. Os canais lógicos têm múltiplas funções como sinalização, sincronismo, paging, transporte de dados ou transmissão de mensagens.

A tabela apresenta os canais lógicos definidos para o GPRS. De forma semelhante ao GSM, os canais lógicos são divididos em duas categorias: canais de tráfego e canais de sinalização e controle.

Grupo	Canal	Função	Duração
Packet Data Traffic Channel	PDTCH	Data Traffic	MS ↔ BSS
Packet Broadcast Control Channel	PBCCH	Broadcast Control	MS↔ BSS
Packet Common Control Channel (PCCCH)	PRACH PAGCH PPCH	Random Access Access Grant Paging	MS ↔BSS MS ↔BSS MS ↔BSS
Packet Dedicated Control Channels	PACCH PTCCH	Associated Control Timing Advanced Control	MS ↔BSS MS ↔BSS

O PDTCH é empregado para o tráfego de dados do usuário. Uma MS pode utilizar mais de uma PDTCH simultaneamente. Pode ser designado a uma única MS ou grupo de MS (no caso de comunicação ponto-multiponto).

O PBCCH é um canal de sinalização e controle, ponto-multiponto, utilizado apenas pela BSS. Sua função é transmitir informações específicas sobre a organização da rede GPRS para todos os terminais móveis dentro de uma célula. Deve também transmitir informações sobre os serviços baseados em comutação, para que não seja necessário o terminal móvel GSM/GPRS monitorar o canal de broadcast onvencional (BCCH).

O PCCCH realiza o transporte das informações de sinalização e controle, responsável pelo gerenciamento de acesso à rede, alocação de recursos de rádio e paging. Consiste de quatro sub-canais:

- PRACH (packet random access channel) - utilizado pela MS para requisitar uma ou mais PDTCH
- PAGCH (packet access grant channel) - utilizado pela BSS para alocar uma ou mais PDTCH para a MS (isto é, aloca recursos GPRS à MS)
- PPCH (packet paging channel) - localiza a MS na área de serviço anunciando a existência de nova solicitações (paging request) dirigidas à MS.
- PNCH (packet notification channel) - informa a MS sobre a existência de mensagens PTM (multicast ou group call)

O canal de controle dedicado é um canal de sinalização bidirecional ponto-a-ponto e contêm os canais de tipo PACCH e PTCCH.

- PACCH (packet associated control channel) - é sempre alocado em conjunto com um ou mais PDTCH destinado a MS, e transporta informação de sinalização relacionada a uma MS específica. É um canal que está associado com uma conexão TBF (Temporary Block Flow).

Uma conexão TBF é uma conexão física usada por duas entidades para suportar a transferência unidirecional de LLC PDUs em canais de pacotes de dados (PDCH). Onde:

LLC - Logical link Control layer

PDU - Packet Data Unit

- PTCCH (packel timing advance control channel) - é utilizado para sincronismo de frame.

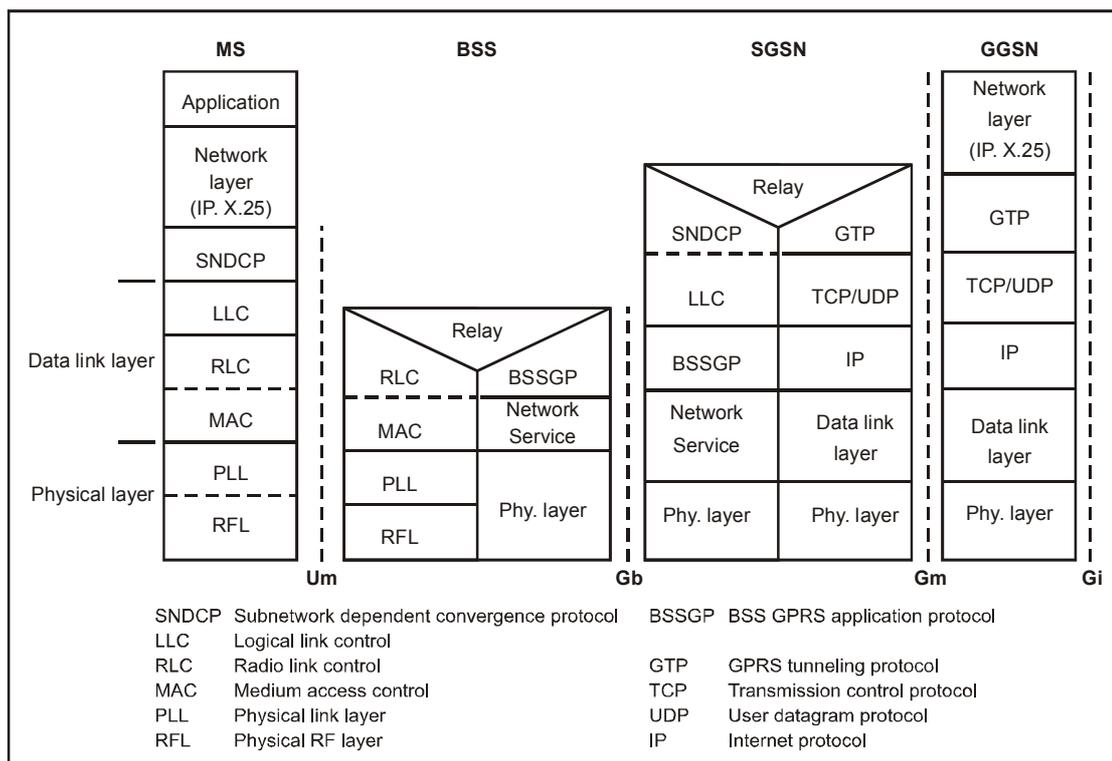
Existem 2 tipos de canais lógicos PTCCH:

- PTCCH/U: usado para transmitir burst de acesso aleatório para permitir a estimativa de alinhamento temporal de um MS durante o estado de transferência.

❑ PTCCH/D: usado para transmitir atualizações de alinhamento temporal para várias MSs. Um PTCCH pode estar associado a vários PTCCH/Us.

Deve haver uma perfeita coordenação entre os canais lógicos comutados por pacote (GPRS) e os comutados por circuito (GSM). Se o PCCCH não estiver presente numa célula, a MS pode utilizar o CCCH da rede GSM convencional para iniciar a transferência de pacotes. Da mesma forma, se o PBCCH não estiver disponível, a MS pode monitorar o BCCH, para obter as informações sobre a interface de rádio.

X.2.7. Arquitetura de protocolos

A figura abaixo, mostra a arquitetura dos protocolos de transferência de pacotes entre as entidades que fazem parte da rede GPRS: [MS e BSS], [BSS e SGSN] e [SGSN e

GGSN].

X.2.7.1. A subcamada RLC:

As funções do RLC, definem os procedimentos para segmentar e recuperar os blocos LLC PDUs em blocos RLC/MAC, quando está no modo de operação com reconhecimento, permitindo a retransmissão seletiva de informação transmitida sem sucesso. Neste modo de operação, a função RLC preserva a ordem dos PDUs recebidas do nível superior. Ou seja, as funções são:

- Oferecer primitivas para a transferência de mensagens entre a subcamada MAC (Medium Access Control) e a subcamada LLC (Logical Link Control)
- Segmentar as LLC PDUs em blocos de dados RLC, como também montar os LLC PDUs a partir dos blocos RLC
- Controle de erros de blocos permitindo a retransmissão seletiva de blocos de dados RLC

X.2.7.2. A subcamada MAC:

As funções do MAC definem os procedimentos que permitem que vários MSs compartilhem o mesmo médio de transmissão que pode, ainda, consistir de vários canais. Esta função também permite que um MS use vários time slots do quadro, simultaneamente. Na originação de chamadas, a função MAC gerencia o acesso de múltiplos MSs no mesmo médio de transmissão.

As funções do MAC suportam o provisionamento de conexões TBF (Temporary Block Flow), que permitem a transferência ponto-a-ponto, de blocos de sinalização e dados de usuário entre a BSS a MS.

X.2.7.3. Estados

- **Estado Idle**

Em este estado não existe nenhum TBF. O MS monitora o canal de paging PCCCH presente na célula. Se o PCCCH não estiver presente, então o MS monitora o canal de paging CCCH. Neste estado, as camadas superiores podem solicitar a transferência de

uma mensagem LLC PDU, o que implicitamente dispara o estabelecimento de uma TBF e a transição para o estado Transferência de pacotes.

- **Estado de transferência de pacotes**

Neste estado, é alocado um recurso de rádio para a MS fornecendo um TBF para uma conexão ponto-a-ponto, em um ou mais canais de pacotes de dados PDCH, para a transferência unidirecionais de LLC PDUs entre a rede e o MS. A subcamada RR fornece os seguintes serviços:

- Transferência de LLC PDUs no modo com reconhecimento
- Transferência de LLC PDUs no modo sem reconhecimento

Quando a transferência de LLC PDUs termina, em qualquer direção uplink ou downlink, a correspondente TBF é liberada. Quando todas as TBFs são liberadas, tanto na direção uplink como downlink, o MS retoma ao estado Idle.

X.2.8. Gerenciamento da conexão GRP

Para que uma MS possa acessar o serviço GPRS, é necessário que ela seja registrada em um servidor SGSN da rede GPRS. A rede verifica se a MS está autorizada a utilizar o serviço. Em caso positivo o HLR envia o registro da MS ao SGSN, já com uma identificação no modo pacote, conhecida como P-TMSI (Packet Temporary Mobile Subscriber Identity). Este procedimento é chamado de Habilitação GPRS.

Para trocar pacotes de dados com uma rede de pacotes de dados externa, depois de uma habilitação com sucesso, a MS envia o endereço apropriado da rede de dados (por exemplo, um endereço IP).

Este endereço é chamado PDP address (Packet Data Protocol address). Para cada seção é criado um contexto PDP que descreve as características da seção contendo:

- Tipo de PDP (por exemplo: Ipv4)
- PDP Address da MS (por exemplo: 129.187.222.10)

- Parâmetros de QoS solicitados
- Endereço do GGSN que serve como ponto de acesso à rede de pacotes

Este contexto é armazenado na MS, SGSN e o GGSN, de forma que com o contexto PDP ativo, a MS se torna visível para a rede de dados e a MS é capaz de enviar e receber pacotes. O mapeamento entre os endereços PDP e o IMSI, permite ao GGSN transferir pacotes de dados entre a MS e a rede de pacotes. Um usuário pode ter vários contextos PDP ativos simultaneamente.

A forma de designação do endereço PDP pode ser estática ou dinâmica. Na forma estática, o operador da rede móvel, designa permanentemente o endereço PDP à MS. Na forma dinâmica, o endereço é designado à MS na ativação do contexto PDP, sendo que pode ser designado pelo operador da rede móvel ou pelo operador da rede de pacotes. Neste último caso de designação dinâmica, o GGSN é responsável pela alocação, ativação e desativação do endereço PDP.

- **Roteamento de pacotes**

A figura abaixo mostra um exemplo de como os pacotes são roteados no GPRS, onde a rede de pacotes é uma rede IP.

Uma MS GPRS localizada na rede móvel PLMN1 envia pacotes IP para um servidor web conectado à rede Intemet. O SGSN, onde está registrado a MS encapsula os pacotes IP vindos da MS, examina o contexto PDP e encaminha os pacotes, via o backbone intra-PLMN GPRS, para o GGSN apropriado. O GGSN desencapsula o pacote e o envia para a rede IP, onde será encaminhado ao destino através dos mecanismos IP. Ainda na figura e no caso onde o sistema local (Home system) da MS é a rede PLMN2, um endereço IP tem sido designado à MS pelo GGSN da rede PLMN2. Dessa forma, o endereço IP da MS tem o mesmo prefixo do endereço IP do GGSN em PLMN2. Assuma que agora o servidor de web está enviando pacotes à MS, via a rede IP. Os pacotes são encaminhados então para o GGSN da rede PLMN2 (sistema local da MS). Este por sua vez, consulta no HLR a localização atual da MS e obtém como resposta que a localização é a rede PLMN1. Com esta informação, o GGSN encapsula os pacotes IP e os envia

através do backbone inter-PLMN GPRS para o SGSN apropriado na rede PLMN1, que os desencapsula e finalmente os envia à MS.

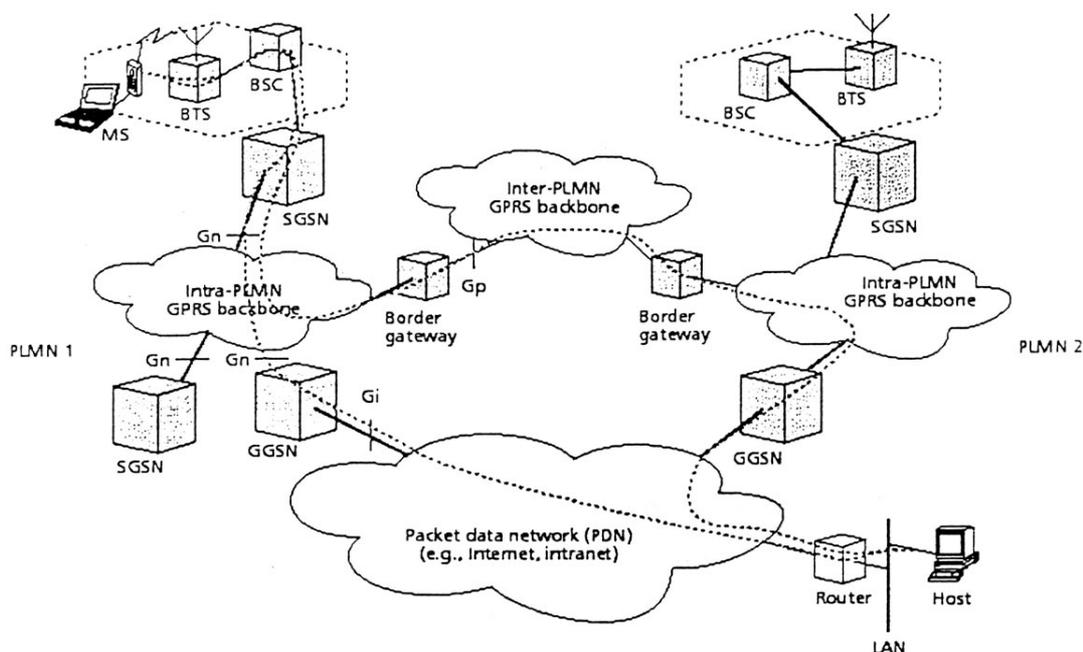



Figura 10.10 – Roteamento de pacotes

❑ Gerenciamento da Mobilidade

A principal função no gerenciamento de mobilidade é manter informações atualizadas da localização da MS (ex: célula atual), de modo que os pacotes de dados sejam encaminhados corretamente e de preferência, no menor tempo possível. Para este propósito, a MS envia periodicamente mensagens de atualização da sua localização para a SGSN.

Basicamente existe um esquema de gerenciamento de mobilidade micro que é realizada pelo SGSN, interessada em atualizar a ERB ou a área de paging de localização da MS. Existe também, um gerenciamento de mobilidade macro, que consiste em atualizar o último SGSN onde está registrado a MS. Esta informação é atualizada no HLR, VLR e GGSN.

X.2.9 Limitações do GPRS

Embora GPRS seja um sistema que oferece uma melhora na eficiência do espectro, na capacidade e nas funcionalidades, comparado com os serviços móveis de voz atuais, é importante ressaltar que existem algumas limitações no GPRS que podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- Capacidade limitada das células: O uso de um determinado recurso para um serviço, exclui o uso simultâneo do outro serviço. Isto tem impacto na capacidade da célula.

- Velocidades menores: Na prática, talvez seja pouco provável que uma operadora permita que um único usuário GPRS use os 8 time slots simultaneamente (conseguindo uma taxa de transmissão máxima e teórica de 172,2 Kbps). Além disso, os terminais GPRS iniciais devem ser muito limitados, suportando talvez até 3 time slots simultaneamente.

- Assim a capacidade máxima do serviço pode vir a ser limitada tanto pelo lado da rede, como pelo lado dos terminais. A realidade é que, redes móveis normalmente oferecem taxas de transmissão menores do que as redes fixas. O resultado é que taxas de dados altas, talvez não estejam disponíveis para usuários móveis individuais em curto prazo, a não ser com a implementação do EGPRS (extended GPRS) ou com a chegada do novo serviço EDGE ou com o sistema UMTS.

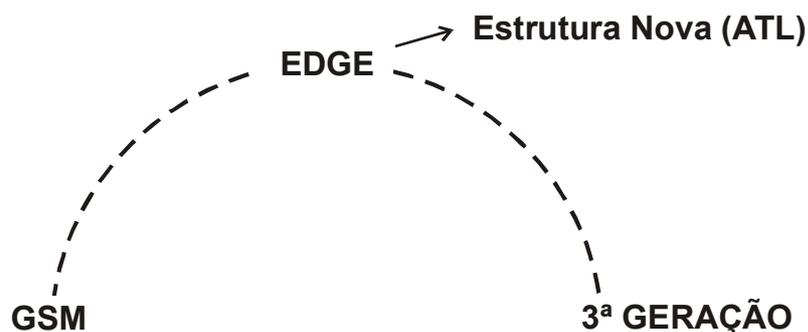
- Chamadas terminadas em terminais GPRS: Ainda não está claro se os terminais GPRS irão suportar chamadas terminadas. Na originação de chamadas via terminais GPRS, o usuário confirma o seu entendimento relacionado com a tarifação do serviço solicitado. Esta interação pode ser feita usando o microbrowser WAP (Wireless Access Protocol) do próprio terminal GPRS. O problema é que o usuário pode receber um tráfego terminado IP que não é de seu interesse. O pior caso seria aquele onde o usuário tenha que pagar por um serviço não desejado. Esta é a principal razão para a dúvida de se os terminas GPRS irão suportar chamadas terminadas.

- Esquema de modulação: GPRS é baseado na técnica de modulação conhecida como GMSK - Gaussian Minimum-Shift Keying. Já o sistema EDGE usa um esquema de modulação que permite uma taxa maior de dados através da interface ar, conhecida como

8 PSK – Eight-phase Shift Keying. Como o sistema UMTS irá adotar também o esquema de modulação 8 PSK, então isto pode ter impacto negativo na transição para os sistemas de terceira geração.

- Retardos na transmissão: No sistema GPRS, os pacotes de dados de uma mesma transação são enviados através de diferentes direções para chegar ao mesmo destino. Isto pode provocar que alguns pacotes tenham retardos altos ou possam ser perdidos. A especificação do GPRS, reconhecendo este fato, incorpora estratégias de retransmissão e integridade dos dados. No entanto, se reconhece também que esses retardos podem existir.

X.3. Enhanced Data rates for Global Evolution (EDGE)/Modulação EDGE= 8 PSK

O EDGE é considerada a ponte entre o sistema GSM e a 3ª geração das redes móveis. A nova técnica utiliza a mesma estrutura de frames TDMA e largura de canal de 200 kHz das atuais redes GSM. O planejamento das células permanece inalterado, o que significa que o serviço pode ser introduzido gradualmente na rede. O serviço pode ser iniciado em áreas de alta capacidade e de interesse, como áreas urbanas densas, centros comerciais, aeroportos, etc. A figura abaixo mostra do sistema EDGE nas redes GSM.

EDGE builds on existing GSM network

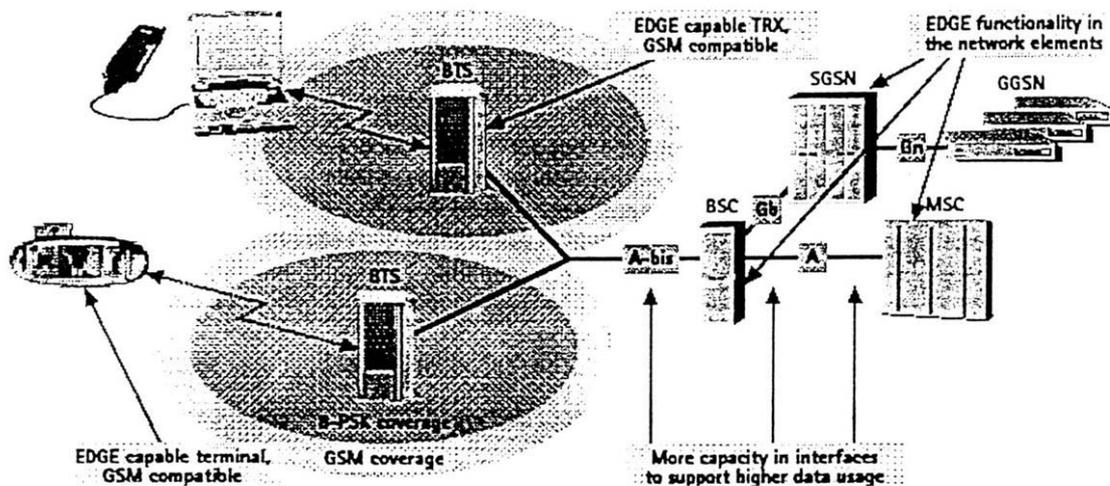



Figura 10.11 – Infra-estrutura do EDGE

A diferença fundamental entre GSM/GPRS e o EDGE é que o primeiro emprega a modulação GMSK, enquanto o segundo utiliza a modulação 8-PSK que codifica 3 bits por símbolo modulado. Graças a isto, a taxa de bits pode ser três vezes maior. Com o EDGE será possível taxas de até 384 kbps no downlink, quando estiver usando os 8 time slots do frame. Isto significa uma taxa de 48 kbps por time slot. Com EDGE a área de cobertura é ligeiramente menor, quando comparada com o sistema GSM convencional.

O sistema EDGE foi introduzido inicialmente pela Ericsson e fornece uma evolução do GPRS para o sistema UMTS, já que implementa o esquema de modulação 8-PSK que será usado pelo UMTS. Este esquema de modulação permite maiores taxas de bits através da interface ar.

A introdução do EDGE implica nas seguintes modificações:

- Será necessário acrescentar um novo transceptor EDGE a cada uma das ERBs do sistema. Este novo transceptor opera tanto com EDGE como também com GSM, tendo a capacidade de comutação automática entre os dois modos de operação.
- Atualizações de software nas BTSs e BSCs
- Novos tipos de terminais com capacitação EDGE

O EDGE proporcionará às atuais redes GSM agilidade para operar serviços de multimídia como Internet /Intranet, vídeo conferência e transferência de arquivos. Um dos maiores atrativos para a introdução da tecnologia EDGE, é a mudança mínima de hardware e software da rede móvel, podendo ser instalada nas redes existentes utilizando as atuais faixas de freqüências.

Capítulo XI - Sistemas Móveis do Futuro

Busca-se ainda a comunicação pessoal a nível mundial, ou seja, a concretização do "sonho" de que um usuário receba e origine chamada telefônica de qualquer lugar do mundo sem a realização de qualquer procedimento adicional.

Outro fator importante nas comunicações móveis é a crescente necessidade por um acesso rápido de dados. A internet tornou-se uma necessidade nos modelos atuais de acesso à informação.

Os usuários desejam manipular seus bancos de dados virtualmente em qualquer lugar. Novos serviços além da transmissão de dados e voz as operadoras deverão estar aptas de recursos de vídeo e outras aplicações multimídia. Terminais móveis avançados deverão suportar a transmissão de grande quantidade de informações em alta velocidade no que será conhecida como a 3ª Geração dos Sistemas Móveis.

Os principais objetivos do sistema IMT 2000 (International Mobile Telecomunications 2000) são:

- Cobertura e mobilidade total para 144Kbps se possível para 384Kbps.
- Cobertura e mobilidade, bastante limitada, para 2Mpbs.
- Uso mais eficiente do espectro de rádio frequência quando comparado com os sistemas atuais.
- Arquitetura flexível para permitir a introdução de novos serviços IN/Umts (Universal Mobile Telecomunications System) .

É um projeto pioneiro de sistema de comunicação móvel de 3ª geração.

O UMTS é considerado como a implementação comercial do IMT-2000 na faixa de 1,9 / 2,2 Ghz, existindo a expectativa que venham a ser o equivalente, em termos de penetração, ao GSM de hoje (Sistema de 2ª geração GSM-1800).

O IMT-2000 foi definido pelo ITV como um padrão internacional para sistema de telecomunicações movéis de alta capacidade e alta troca de dados incorporando componentes de acesso terrestre e por via satélite.

O objetivo do padrão UMTS é produzir especificações detalhadas para satisfazer as necessidades crescentes de mercado para roaming global, fornecimento de acesso à rede digital de serviços integrados a banda larga (ISDN – Integrated Services Digital Network) e integração de vários serviços móveis e fixos existentes.

X1.1. Espectro para UMTS

Cada país ou região distribui faixas de espectro de maneira diferente.
Em 1992 a WARC – 92 (Wold Administrative Radio Conference) identificou as faixas de frequência entre 1885 – 2025 Mhz e 2110 2200 Mhz para os sistemas IMT – 2000

Componente terrestre o sistema utiliza:

- faixa 1920 – 1980 Mhz e 2110 – 2170 Mhz, operados no modo FDD (Frequence Divisio Duples).
- faixa 1885 – 1920 e 2010 –2025 Mhz, será operada no modo TDD (Time Division Duplex).

Acesso por satélite:

- faixa 1980 – 2010 Mhz e 2170 –2200 Mhz.

Nos Estados Unidos parte do espectro para IMT – 2000 já está sendo utilizada por sistemas – Pc5 – Na Europa e Japão, a distribuição do espectro é idêntica exceto pela faixa do PH 5 que sobrepõe parcialmente a faixa para UMTS – TDD.

Porém devido ao grande crescimento do mercado de comunicações móveis e demanda por aplicações multimidia, três faixas adicionais de espectro passaram a ser consideradas para o IMT – 2000. Um novo encontro (W.RC – 2000) retificou as faixas destinadas na WARC – 92 e discutiu (sem definição ainda) as faixas adicionais para o futuro serviço. Essas faixas são:

- 806 – 960 Mhz : Intensamente utilizada por sistema celulares de 2ª geração.(Dificilmente será utilizada pelo IMT – 2000 em um prazo menor de 5 anos).

- Faixa de 1,8 Ghz: Os EUA não apoiam esta faixa e a Europa e a Äsia não tem interesse nela porque já está alocada para os seus sistema de 2ª geração (GSM – 1800).
- Faixa de 2,5 Ghz: O Brasil teria problema devido as licenças de MMDS que utilizam essa faixa. No entanto é a faixa preferida pela Europa e Äsia, quando se esgotar o uso da faixa de 1,9 / 2,1 Ghz.

XI.2. Tecnologia UMTS

Alguns pontos essenciais para a introdução do UMTS são apresentados a seguir:

Terminais de 2ª Geração / UMTS

- Os terminais UMTS deverão coexistir com diversos padrões (faixa de operações e tecnologia).
- Os Terminais deverão ser multi-band e multi-mode para que possam funcionar com diferentes padrões. Assim, as operadoras poderão oferecer aos seus assinantes máxima flexibilidade e cobertura, combinando ultra com padrões de 1ª e 2ª geração.

Sistema por satélites

- Promove cobertura global para uma classe de terminais assinantes. Estes sistemas serão implementados utilizando a faixa MSS (Mobile Satellite Service) de frequencia identificando para o IMT – 200 e fornecerá serviços compatíveis com o sistema do componente terrestre. O UMTS está sendo padronizado para que os procedimentos de roaming e Andover entre rede terrestre e por satélite sejam transparentes para o usuários.

USIM Card / Smart card

- Um grande inovação introduzida pelo GSM foi o Sim Card / Smart card. O módulo de identificação do usuário possibilita maior segurança e privacidade nas operações do assinante e um certo grau de personalização do terminal móvel.

Espera-se que a evolução da tecnologia de semicondutores permita que a memória de maior capacidade e micro-processadores de melhor desempenho sejam adicionados nos cartões do usuário. USIM (UMTS Subscriber Identily Module) acrescente mais funcionalidades ao cartão do usuário. Além do software de configuração para operação do terminal UMTS, poderão ser armazenados imagens, assinatura, impressão digital, arquivos pessoais ou dados biomédicos. Várias aplicações bancárias com um único USIM.

Compatibilidade IP (Internet Protocol)

- As redes e aplicações IP continuam crescendo, a mais comum e popular é a Internet. Porém, as redes privadas (Intranets) apresentam um crescimento similar, mostrando grande potencial no mercado de comunicações.

UMTS promete ser a tecnologia de acesso via rádio mais flexível, tanto para uso móvel ou fixo, residencial ou escritório, em redes públicas ou privadas.

Bibliografia

- Sistemas de Comunicações Celulares - Notas de Aula, L.Silva Mello, L.Coelho, N.A.P Garcia e M.E.R da Costa , CETUC - PUC-Rio - 2000
- Introdução aos Sistemas Celulares - Notas de Aula, Dr.Dayani Adionel Guimarães, Inatel - 2000
- Sistemas de Comunicações Pessoais - GSM - Notas de Aula , L.Silva Mello, Bruno Maia e Adriano Rocha Lima
- Planejamento de Sistemas Celulares - Notas de Aula, Dr.LeonardoG.R. Guedes- UFG - 2000
- An Introduction to GSM - S.M.Redl, M.K.Weber, M.W.Oliphant, Artech House - 1995
- GSM System Engineering - A.Mehrotra, Artech House - 1996
- GSM System Survey - Apostila de Treinamento da Ericcson.
- Sistemas GSM - Celtec- Apostila de Treinamento da Telemar.
- Artigos Diversos nas revistas: IC World, RNT, Inatel.
- Sites consultados(mais importantes):

http://www.cellular.co.za/gsmtechdata.htm ; http://www.iec.org ;